

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр  
Освітній рівень

Кіберфізична систем освітлення домашньої теплиці на базі мікроконтролера  
ATMega328  
Назва теми

КвРКІ 210364.21.03.67 ПЗ  
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»  
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»  
Назва

Виконав: студент IV курсу, група KI2-21-3 Dem'yan Дем'ян КОЗИК  
Підпис Ініціали, прізвище

Керівник ser Василь СТЕЦЮК  
Підпис, дата Ініціали, прізвище

Нормоконтролер K Тетяна КИСІЛЬ  
Підпис, дата Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
зав. кафедри комп'ютерної  
інженерії та інформаційних  
систем

[Signature]  
Підпис

Ольга ПАВЛОВА  
Ініціали, прізвище

«19» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

Ольга ПАВЛОВА



“ 10 ” 01 2025 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Дем'яну КОЗИКУ

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична систем освітлення домашньої теплиці на базі мікроконтролера ATmega328

Керівник проекту (роботи) Василь СТЕЦЮК, старший викладач

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

Кіберфізична систем освітлення домашньої теплиці на базі мікроконтролера ATmega328 та постановка задачі щодо її удосконалення

Проектування систем освітлення домашньої теплиці на базі мікроконтролера ATmega328

Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної систем освітлення домашньої теплиці на базі мікроконтролера ATmega328

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_ Схема електрична принципова

Схема монтажна

Лістинг коду системи

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КПС		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконав
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконав
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2025	виконав
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проектування систем освітлення домашньої теплиці на базі мікроконтролера ATmega328	01.04.2025	виконав
5	Робота над розділом 3 – проектування системи освітлення домашньої теплиці на базі мікроконтролера ATmega328	29.04.2025	виконав
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконав
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконав
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

Підпис Дем'ян КОЗИК  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис Василь СТЕЦЮК  
Ініціали, прізвище

№ р я д к а	Ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л л и с т і в	№ ек з	П р и м і т к а
			<u>Текстові документи</u>			
1		КвРКІ 210364.21.03.67 ПЗ	Пояснювальна записка	55		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КвРКІ 210364.21.03.67 Е8	Схема електрична принципова	1		
3		КвРКІ 210364.21.03.67 Е8	Схема монтажна	1		
4		КвРКІ 210364.21.03.67 Е8	Лістинг коду системи	1		

					КвРКІ 210364.21.03.67 ВП							
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Відомість проекту			Літера	Аркуш	Аркушів		
Розробив		Козік	<i>[Signature]</i>	20.06				У	1	1		
Перевір.		Стецюк	<i>[Signature]</i>	20.06.20				ХНУ, КІ2-21-3				
Н. конпр.		Кисіль	<i>[Signature]</i>	20.06.20								
Затв.		Павлова	<i>[Signature]</i>	20.06.20								

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична систем освітлення домашньої теплиці на базі мікроконтролера АТМega328».

Автор роботи: Дем'ян Козік.

Керівник роботи: Стецюк Василь Миколайович.

Пояснювальна записка: 55 с., 18 рис., 1 табл., 3 дод., 50 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

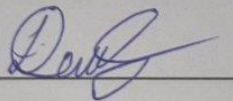
ТЕПЛИЦЯ, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, Архітектура, МОНИТОРИНГ,  
БАЗА ДАНИХ.

Метою дипломної роботи є визначення умов і особливостей побудови автоматизованої системи штучного освітлення, а також оцінка ефективності її функціонування в рамках кіберфізичної архітектури, адаптованої до використання в побутових тепличних умовах. Основна увага приділена технічному обґрунтуванню вибору мікроконтролера АТМega328 як центрального вузла керування, що забезпечує взаємодію між сенсорами, виконавчими пристроями та алгоритмами обробки вхідних даних.

Об'єктом дослідження є процес функціонування системи автоматичного керування штучним освітленням у домашній теплиці.

Предметом дослідження є методи реалізації логіки керування освітленням на основі показників сенсорів навколишнього середовища, а також апаратно-програмні засоби, що забезпечують цю взаємодію у складі кіберфізичної системи.

Під час проведення даного дослідження був використаний метод систематичного огляду літератури для вивчення і аналізу предметної області даного дослідження з текстових джерел інформації.



Підпис студента

30.05.2025

Дата

ВСТУП.....		ЗМІСТ	
<b>1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕМИ</b> .....		3	
1.1.	Актуальність розробки системи.....	5	
1.2.	Огляд існуючих рішень.....	8	
1.3.	Обґрунтування вибору підходу до реалізації системи.....	10	
1.4.	Постановка задачі.....	13	
1.5.	Висновки до першого розділу.....	15	
<b>2 ОПИС ПРОВЕДЕНОГО ПРАКТИЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ</b> .....		17	
2.1.	Обґрунтування обраних технічних засобів та їх порівняння з аналогами.....	17	
2.2.	Вимоги до пристрою та його архітектура.....	22	
2.3.	Програмування мікроконтролера.....	26	
2.4.	Система збору та обробки інформації з використанням датчиків та мікроконтрольованих пнів.....	29	
2.5.	Висновки до другого розділу.....	33	
<b>3 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ОСВІТЛЕННЯ ТЕПЛИЦІ</b> .....		35	
3.1.	Монтаж пристрою та підключення компонентів.....	35	
3.2.	Тестування в реальних умовах.....	39	
3.3.	Аналіз стабільності та ефективності роботи.....	43	
3.4.	Перспективи вдосконалення розробки.....	46	
3.5.	Аналіз температурного режиму компонентів системи.....	50	
3.6.	Висновки до третього розділу.....	55	
<b>ВИСНОВКИ</b> .....		57	
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ</b> .....		59	
<b>ДОДАТОК А</b> .....		64	
<b>ДОДАТОК Б</b> .....		65	
<b>ДОДАТОК В</b> .....		66	

				КвРКІ.190130.19.01.19 ПЗ				
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Кіберфізична систем освітлення домашньої теплиці на базі мікроконтролера АТМega328. Пояснювальна записка	Літера	Арквш	Арквшів
Виконав		Дем'ян КОЗІК	<i>[Signature]</i>	2006		у	2	72
Перевір.		Ольга ПАВЛОВА	<i>[Signature]</i>	2006				
Н.контр.		Тетяна КИСЛІВ	<i>[Signature]</i>	2006				
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА	<i>[Signature]</i>	2006				
						ХНУ КІ2-21-3		

## ВСТУП

На сучасному етапі розвитку інформаційних технологій усе більшого значення набуває впровадження інтелектуальних систем у повсякденне життя. Людство дедалі активніше застосовує автоматизовані рішення для оптимізації побутових процесів, підвищення рівня комфорту та ефективного використання ресурсів. Особливо помітною ця тенденція стала у сфері домашнього господарства, де вже реалізовано низку проєктів зі створення так званих "розумних" систем - від управління освітленням житлових приміщень до контролю мікроклімату в теплицях. Ці рішення базуються на технологіях Інтернету речей, сенсорних мережах та мікроконтролерах, що забезпечують зв'язок між фізичними пристроями та цифровими алгоритмами керування.

Питання автоматизації домашніх теплиць є надзвичайно актуальним у світлі зростання інтересу до самостійного вирощування екологічно чистих овочів, зелені та квітів. У міських умовах, коли можливості для повноцінного сільськогосподарського виробництва обмежені, саме компактні тепличні установки дозволяють отримувати стабільний урожай круглорічно. Проте для успішного вирощування рослин необхідно підтримувати стабільні умови освітлення, температури та вологості, що без автоматизованої системи вимагає постійного втручання людини. Зокрема, освітлення є одним із ключових параметрів, що визначає швидкість фотосинтезу, інтенсивність росту та цвітіння. Підтримання оптимального рівня освітленості в умовах обмеженого природного світла, особливо в осінньо-зимовий період, є критично важливим завданням.

У межах даної дипломної роботи було запропоновано створення кіберфізичної системи автоматизованого освітлення домашньої теплиці на основі мікроконтролера ATmega328. Такий підхід дозволив об'єднати апаратні та програмні компоненти в єдину саморегульовану систему, здатну безперервно аналізувати показники навколишнього середовища та приймати керувальні рішення щодо вмикання чи вимикання штучного освітлення. В основі проєкту

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лежить концепція кіберфізичних систем, яка передбачає тісну інтеграцію обчислювальних процесів із фізичними об'єктами. У цьому випадку фізичним середовищем виступає простір теплиці, а цифровим - керувальна логіка, реалізована на базі мікроконтролера.

Обраний мікроконтролер ATmega328, що лежить в основі популярної платформи Arduino Uno, відзначається достатньою продуктивністю, широким спектром інтерфейсів для взаємодії з датчиками та невисокою вартістю. Він дозволив реалізувати основну функціональність системи без залучення дорогого обладнання або спеціалізованих промислових контролерів. В результаті вдалося створити доступне й ефективне рішення для автоматичного керування освітленням, яке орієнтоване на побутового користувача.

Особливістю розробленої системи стало використання сенсорів освітленості, які забезпечили можливість адаптації режиму роботи ламп відповідно до фактичного рівня природного світла. Завдяки цьому система автоматично вмикала або вимикала LED-лампи залежно від потреби, що дало змогу знизити енергоспоживання та забезпечити стабільне освітлення протягом усього добового циклу. Було реалізовано можливість імітації дня та ночі, що сприяє покращенню росту рослин та дозволяє більш гнучко налаштовувати світлові сценарії під конкретні культури.

Актуальність обраної теми обумовлена кількома чинниками. По-перше, це зростання попиту на індивідуальні засоби вирощування продуктів харчування. По-друге, в умовах енергетичної нестабільності важливо впроваджувати технології, які дозволяють зменшити витрати на електроенергію без шкоди для кінцевого результату. По-третє, впровадження автоматизованих систем керування у домашнє середовище є складовою частиною загального розвитку концепції «розумного дому», яка передбачає інтеграцію цифрових рішень у всі побутові процеси. Крім того, впровадження таких систем є актуальним з погляду екології, оскільки дозволяє мінімізувати вплив людського фактору на довкілля, підвищуючи ефективність використання природних ресурсів.

# 1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕМИ

## 1.1. Актуальність розробки системи

У сучасному світі технології дедалі глибше проникають у повсякденне життя людини. Те, що раніше здавалося складним або навіть недосяжним, сьогодні стало звичним побутом. Автоматичні системи, інтелектуальні пристрої, датчики, які «бачать» та «відчувають» - усе це вже не атрибути великих виробництв, а складники домашнього середовища [1]. Те саме стосується й догляду за рослинами. Ще кілька десятиліть тому теплиця у дворі або навіть на балконі була простою конструкцією з плівки чи скла [2]. Наразі ж мова йде про розумні мініатюрні екосистеми, здатні самостійно контролювати світло, вологу, температуру та інші параметри, необхідні для росту культур. Така трансформація пов'язана не лише з розвитком технологій, а й із тим, як змінилися погляди суспільства на екологію, харчування і самодостатність[3].

Потреба в автоматизованих системах керування освітленням домашніх теплиць виникла не на порожньому місці. Зміни клімату, нестабільність сезонів, зростаючі ціни на овочі й зелень, а також глобальне зростання інтересу до екологічного способу життя - усе це спричинило справжній бум на домашнє вирощування рослин. Люди дедалі частіше прагнуть мати контроль над тим, що вони їдять. Саджанці на підвіконні, мініатюрні теплиці на балконах, вертикальні ферми в офісах - це вже не фантастика, а буденна реальність. Проте рослини не ростуть за бажанням господаря - вони вимагають стабільних і точних умов. Особливо критичною є освітленість: вона впливає на фотосинтез, розвиток кореневої системи, розгалуження стебел, час цвітіння та врожайність. При цьому в умовах української зими, короткого світлового дня й хмарності природне освітлення часто виявляється недостатнім або нестабільним [4].

Керування освітленням у домашній теплиці вручну - це втомливо, непрактично і, як показує досвід, не дуже ефективно. Людина не завжди вдома, часто забуває ввімкнути або вимкнути лампу, не має можливості точно

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контролювати час чи інтенсивність світла. У результаті рослини або не отримують достатньо світла, або страждають від перенасичення. Саме тому виникає необхідність у системі, яка здатна не лише включити світло, а й «розуміти», коли і на скільки це потрібно зробити. Системі, що враховує зовнішнє освітлення, час доби, потреби конкретної рослини, а також може працювати автономно, без постійного втручання людини. Усе це відповідає концепції кіберфізичних систем - середовища, де цифрова логіка та фізичні компоненти функціонують як одне ціле.

Сама ідея кіберфізичних систем стала знаковою векторною точкою технічного прогресу у XXI столітті. Це вже не просто автоматичні пристрої, а цілі комплекси, де програмна логіка невід'ємно пов'язана з фізичними процесами. Вони постійно збирають дані, аналізують, приймають рішення і діють - майже як живий організм. У теплиці це означає, що система в реальному часі реагує на зміну рівня природного світла, стану ґрунту, вологості повітря тощо. Це вже не лампа з таймером - це інтелектуальний підхід, який намагається відтворити або навіть поліпшити природні умови зростання рослин [5].

Такі системи, які здаються складними, насправді стали доступними завдяки розвитку мікроконтролерної техніки. Зокрема, мікроконтролер ATmega328, що використовується в платі Arduino Uno, давно зарекомендував себе як зручний, надійний і бюджетний засіб для побудови інтелектуальних пристроїв [6]. Цей чип здатний опрацювати сигнали з кількох сенсорів, прийняти рішення на основі алгоритму, керувати реле або PWM-сигналами для ламп, а також фіксувати зміни в навколишньому середовищі. Завдяки простоті у програмуванні та величезній кількості прикладів у відкритому доступі, ATmega328 (рис. 1.1) став універсальним рішенням для навчальних і практичних цілей [7].

Не менш важливою причиною актуальності такої системи є енергоспоживання. Освітлення теплиці - це, зазвичай, найбільший споживач електроенергії в усьому комплексі. Якщо світло працює постійно, навіть коли є сонце, це веде до перевитрати ресурсів, підвищених рахунків і шкоди для довкілля. Водночас, система, яка враховує природну освітленість і вмикає штучне світло

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лише тоді, коли це справді потрібно, дозволяє суттєво знизити витрати. Особливо це відчутно в умовах енергетичної нестабільності, коли кожна зайва кіловат-година має значення. Навіть у межах однієї квартири такі заощадження відчуються у щомісячних платіжках, а в ширшому масштабі - сприяють енергоефективності всієї країни.

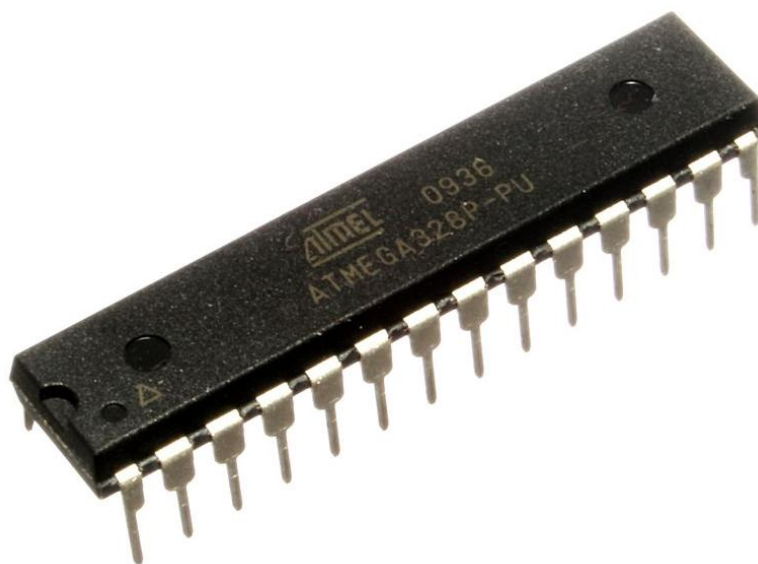


Рисунок 1.1 – Мікроконтролер ATmega328 [23]

Окрім технічних і економічних факторів, така система має ще й освітнє значення. Створення подібної моделі - це чудовий спосіб вивчити основи мікроелектроніки, програмування, логіки автоматизації. Вона стає живим прикладом того, як техніка й біологія можуть працювати разом. Такі проєкти часто реалізуються студентами, ентузіастами, вчителями та батьками з дітьми. Це не просто технічна задача, а й можливість відчути себе частиною сучасного світу, де навіть власна теплиця вдома може бути розумною [8].

Розробка кіберфізичної системи керування освітленням домашньої теплиці має безліч причин бути актуальною: від практичних побутових потреб і зручності до глобальних викликів, пов'язаних з енергетикою, харчовою безпекою, технологічною освітою та сталим розвитком. Це саме той випадок, коли невелика система вирішує не лише локальні, а й суспільно важливі задачі [9].

## 1.2. Огляд існуючих рішень

На сучасному етапі розвитку технологій існує кілька основних напрямів реалізації систем керування освітленням у теплицях. Кожен із них має свої особливості, визначається цільовим призначенням, масштабом застосування, фінансовими можливостями користувача та ступенем технічної складності. Ці рішення умовно поділяються на промислові системи, комерційні побутові комплекти та саморобні установки на базі мікроконтролерів [10].

Цей клас рішень створено для масштабних тепличних господарств, де потрібно контролювати не лише освітлення, а й десятки інших параметрів - температуру, вологість, вміст CO<sub>2</sub>, рівень поливу, вентиляцію, живлення, роботу димарів, жалюзі та інше обладнання. Системи такого типу побудовано на базі програмованих логічних контролерів (PLC), сенсорних мереж та спеціального програмного забезпечення з можливістю віддаленого керування і моніторингу [11].

Їхні переваги полягають у високій точності, стійкості до збоїв, наявності модулів аварійного оповіщення, підтримці складної логіки регулювання та довготривалій експлуатації. Проте ці рішення часто коштують десятки тисяч доларів, вимагають спеціального навчання персоналу, складні в налаштуванні та обслуговуванні, а головне - абсолютно не пристосовані до потреб пересічного користувача або невеликої теплиці біля дому [12].

Останніми роками з'явилася велика кількість так званих розумних тепличних наборів, що продаються на ринку як готові рішення для домашнього користувача. Найчастіше це закриті пластикові коробки з вбудованими лампами, вентиляторами, сенсорами, живленням і навіть Wi-Fi-модулями для підключення до мобільного застосунку. Вони зручні для вирощування розсади, пряних трав, кімнатних квітів або гідропоніки [13].

Безперечною перевагою таких рішень є їх простота: користувачеві достатньо лише під'єднати живлення, налаштувати кілька параметрів через телефон і запустити систему. Часто ці комплекти мають симпатичний дизайн, низький рівень

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шуму, можливість зміни спектру LED-освітлення, таймери та автоматичне вимкнення. Однак навіть ці системи мають свої мінуси [14-16]. По-перше, вони є «чорними ящиками»: їх неможливо модифікувати, інтегрувати з іншими пристроями або розширити функціонал. По-друге, вартість таких комплектів зазвичай досить висока для домашнього використання, а площа, яку вони обслуговують, обмежена кількома десятками сантиметрів [17]. Крім того, у багатьох моделях не реалізовано адаптивне керування освітленням - вони просто вмикають світло за таймером, не зважаючи на зовнішнє природне освітлення [18].

Цей напрям став найпопулярнішим серед ентузіастів, студентів та викладачів, адже дозволяє створити власну систему практично з нуля, використовуючи доступні компоненти [19]. На відміну від комерційних рішень, саморобні конструкції на Arduino Uno або аналогах із мікроконтролером ATmega328 є повністю відкритими до налаштування та вдосконалення. Користувач сам вирішує, які сенсори додати, які алгоритми реалізувати, як підключити реле, як працюватиме логіка освітлення [20,21]. У багатьох випадках використовується фоторезистор або цифровий сенсор освітленості (наприклад, BH1750), що дозволяє системі приймати рішення не на основі часу доби, а залежно від фактичного рівня освітлення в теплиці. [22]

Серед переваг такого підходу - повна свобода, низька вартість, гнучкість у реалізації логіки, можливість додати інші модулі (наприклад, температурні сенсори, LCD-екрани, Bluetooth або Wi-Fi зв'язок). Крім того, це чудова можливість навчитися електроніці, алгоритміці й мікроконтролерному програмуванню [23-25]. Проте такі системи вимагають більше часу на розробку, знань в області схемотехніки та програмування, а також самостійного складання, відлагодження і тестування. І хоча Arduino є дуже дружнім для новачків, помилки в підключенні або прошивці все ж часто трапляються [26].

Незважаючи на це, саме такий підхід найкраще підходить для задачі, описаної у цій роботі. Він дозволяє досягти балансу між функціональністю, вартістю, адаптивністю та автономністю. Саморобна система на Arduino може бути

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

достатньо простою для домашнього користувача, але водночас досить гнучкою, щоб реагувати на зміни природного світла, працювати за реальними показниками сенсорів та моделювати добовий ритм освітлення [27].

Узагальнюючи, можна стверджувати, що існуючі рішення охоплюють широке поле від надто складних до надто обмежених систем. Промислові комплекси вимагають великих ресурсів, комерційні набори - дорогі та закриті, а саморобні системи - потребують часу й навичок, але забезпечують максимальну гнучкість і відповідність конкретним умовам. Саме тому створення власної кіберфізичної системи на базі мікроконтролера ATmega328 виявилось найдоцільнішим шляхом у межах цього дипломного проєкту [28].

### 1.3 Обґрунтування вибору підходу до реалізації системи

На основі попереднього вивчення теоретичних основ побудови кіберфізичних систем і детального аналізу вже реалізованих прикладів автоматизації домашніх теплиць сформовано цілісний підхід до створення власного варіанта системи автоматизованого керування освітленням. Було враховано численні фактори, що безпосередньо впливають на успішність впровадження подібного рішення в умовах побутового середовища, де важливу роль відіграє не лише технічна ефективність, а й доступність комплектуючих, простота розгортання, можливість адаптації під індивідуальні умови користування, надійність у тривалій експлуатації, а також енергоефективність і здатність до масштабування [29].

Ключовою метою стало досягнення максимальної функціональності при мінімальному ресурсному навантаженні, як фінансовому, так і обчислювальному [30]. В умовах домашньої теплиці часто відсутня потреба у високопродуктивних обчислювальних потужностях чи складних промислових рішеннях [31]. Пріоритетом є стабільна робота в замкненому середовищі, де необхідно виконувати обмежене коло завдань – отримання показань з фотосенсорів,

ухвалення рішень за певним алгоритмом і керування світлодіодними джерелами світла. Усе це не потребує надмірно складних технічних засобів, а отже, перевагу було надано мікроконтролерній платформі з відкритою архітектурою [32].

Розглядалися кілька підходів до реалізації апаратної частини – зокрема, застосування одноплатних комп'ютерів типу Raspberry Pi (рис. 1.2), використання спеціалізованих програмованих логічних контролерів (ПЛК), а також вбудованих рішень на основі мікросхем ESP [33]. Однак детальний порівняльний аналіз засвідчив, що більшість із цих варіантів мають суттєві обмеження або надмірну складність у контексті завдань керування освітленням невеликої теплиці. Наприклад, Raspberry Pi, попри широкі функціональні можливості, потребує складнішого середовища розробки, має триваліший час завантаження, потребує наявності ОС, схильний до помилок під час нестабільного живлення [34]. Промислові ПЛК, у свою чергу, коштують значно дорожче, вимагають спеціалізованого програмного забезпечення й орієнтовані на інші масштаби завдань.

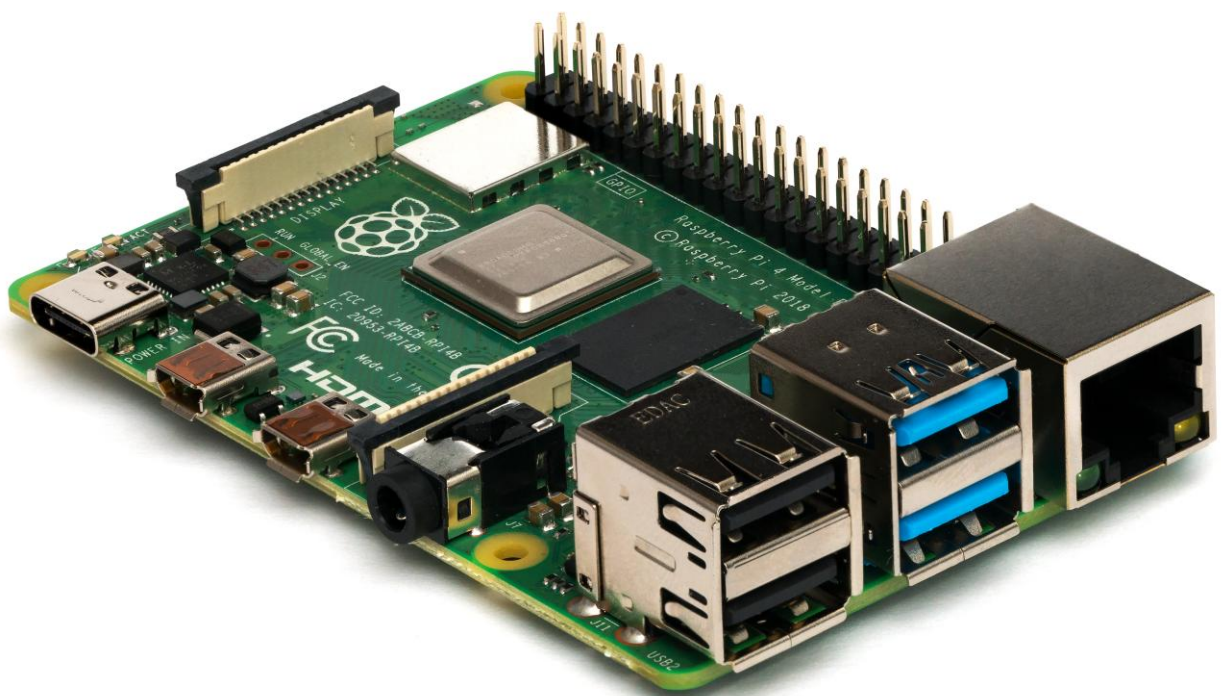


Рисунок 1.2 – Raspberry Pi

У підсумку, оптимальним за всіма параметрами виявився підхід, заснований на використанні мікроконтролера ATmega328 у складі платформи Arduino Uno. Це рішення вже багаторазово демонструвало свою ефективність у подібних побутових проєктах завдяки поєднанню стабільності, невибагливості до умов експлуатації, простоти програмування та широкої підтримки з боку спільноти [35]. Arduino дозволяє працювати із сенсорами, актуаторами та модулями без глибоких знань електроніки, при цьому зберігаючи достатню гнучкість для реалізації складної логіки керування [36].

Крім того, Arduino Uno має доступне середовище розробки, яке не потребує спеціального програмного чи апаратного забезпечення [37]. Весь процес програмування виконується через USB-інтерфейс у безкоштовному середовищі Arduino IDE, яке підтримує інтеграцію великої кількості бібліотек. Завдяки цьому навіть базові користувачі здатні з нуля створити робочу систему, а за потреби – швидко модифікувати її функціонал [38].

З технічної точки зору, використання ATmega328 дозволяє реалізувати повний цикл функціонування кіберфізичної системи: зчитування даних з фотосенсорів, обробка отриманої інформації відповідно до заданих алгоритмів, формування керувальних сигналів для виконавчих пристроїв, у тому числі світлодіодних матриць або ламп, а також моніторинг коректності виконання дій у реальному часі [39]. Такий підхід забезпечує моментальну реакцію системи на зміну освітленості або інші зовнішні чинники, що є критично важливим для підтримки оптимального фотоперіоду в умовах обмеженого доступу до природного світла [40,41].

Також важливою перевагою обраного підходу є модульність і масштабованість. Побудова системи за принципом відкритої архітектури дозволяє в майбутньому додавати нові функціональні блоки, такі як датчики вологості ґрунту, температурні сенсори, модулі бездротового зв'язку тощо. Завдяки цьому система не обмежується вузьким функціоналом освітлення, а стає фундаментом для створення повноцінного комплексу «розумної теплиці», здатного автоматично

регулювати всі основні параметри середовища для забезпечення найкращих умов вирощування рослин [42-44].

Підсумовуючи, вибір підходу до реалізації системи освітлення домашньої теплиці базується на прагненні поєднати практичність, простоту, технічну ефективність та економічну доцільність. Застосування Arduino Uno на базі ATmega328 дозволило забезпечити необхідну гнучкість, швидкість реакції, зручність програмування, а також можливість подальшої адаптації системи до нових викликів. Це дозволяє системі не лише відповідати поточним потребам, а й залишатися актуальною в майбутньому, коли виникне потреба у розширенні її функціоналу або інтеграції в ширші екосистеми розумного дому [45].

#### 1.4. Постановка задачі

Після аналізу наявних технічних рішень стало очевидно, що у сфері побутового рослинництва залишається відчутна потреба в простих, доступних, але функціонально повноцінних системах автоматичного керування освітленням. Більшість готових або промислових варіантів на ринку є або надмірно складними й дорогими, або занадто спрощеними, щоб справді забезпечити оптимальні умови для росту рослин. У таких умовах особливо актуальною стала розробка власного рішення, яке враховує не лише технічну доцільність, але й побутову зручність, компактність, модульність і гнучкість в адаптації під конкретні умови.

У цій дипломній роботі основна увага зосереджена на створенні кіберфізичної системи освітлення для домашньої теплиці, яка функціонує автономно, реагує на зміну природного освітлення й забезпечує стабільний режим для фотосинтезу. Система мала забезпечити керування LED-освітленням у реальному часі на основі показників із сенсора світла, причому без потреби щоденного втручання з боку користувача. Таким чином, перед дослідженням постала задача створити не просто автомат, а дійсно інтелектуальну керувальну логіку, яка враховує мінливість зовнішнього середовища та адаптується до нього.

Обрана концепція реалізації ґрунтується на використанні мікроконтролера АТМega328, оскільки він забезпечує ідеальний баланс між функціональністю та простотою. Він має достатньо виводів для підключення датчиків і виконавчих елементів, працює на низькому споживанні енергії, легко програмується через Arduino IDE і підтримується величезною спільнотою розробників, що дозволяє легко знаходити приклади, бібліотеки та документацію. Такий вибір уможливив зосередження уваги на логіці функціонування системи, а не на боротьбі з апаратними обмеженнями.

У межах поставленого завдання було також визначено перелік основних функціональних вимог до системи. Вона мала отримувати сигнали з датчика освітлення (наприклад, фоторезистора або цифрового сенсора), порівнювати ці значення з еталонним порогом та, залежно від цього, вмикати або вимикати джерело світла. Паралельно передбачалася можливість модифікації алгоритму під конкретні умови (наприклад, час доби, тип культури, рівень зовнішньої освітленості). Тобто, система мала не лише жорстко реагувати на зміну параметра, а й забезпечувати певний ступінь адаптивності, що властиве сучасним кіберфізичним системам.

Окрему увагу приділено мінімізації вартості реалізації - адже рішення має бути доступним для широкого кола користувачів. Тому всі елементи добиралися з урахуванням ціни, доступності та простоти підключення. Такий підхід дозволив спроектувати компактну і недорогу, але функціональну модель, яка не потребує спеціального середовища для налаштування або експлуатації. Її можна зібрати з мінімального набору компонентів, використовуючи стандартну макетну плату, прості сенсори та модулі керування навантаженням.

Крім цього, було поставлено завдання забезпечити модульність системи - тобто можливість її подальшого розширення або інтеграції з іншими підсистемами, наприклад, керування поливом, температурою, вентиляцією тощо. Архітектура має дозволити змінювати або доповнювати функціональність без кардинального перепроектування всієї системи. Це створює основу для подальшого розвитку й

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

масштабування, що також відповідає філософії сучасних розумних рішень, які розвиваються разом із потребами користувача.

У результаті сформульовано практичну задачу, яка включає в себе розробку логіки функціонування, вибір необхідних апаратних компонентів, створення алгоритмів керування освітленням, розробку структурної схеми системи, а також моделювання її роботи з урахуванням типових сценаріїв для домашніх умов. Реалізоване рішення має імітувати добові цикли, реагувати на зміну умов освітленості та забезпечити стабільну підтримку параметрів, необхідних для здорового росту рослин.

Таким чином, сформульована задача виходить за межі простої автоматизації. Вона передбачає побудову адаптивної системи, здатної працювати самостійно, підтримувати ефективний режим освітлення у домашній теплиці, і водночас залишатися доступною, простою й відкритою до вдосконалення. Це дозволяє оцінити не лише технічний результат, а й практичну цінність розробки, яка вписується у сучасний підхід до сталого побуту та самостійного забезпечення екологічно чистої продукції.

### 1.5. Висновки до першого розділу

У ході аналізу теоретичних аспектів теми було встановлено, що проблема забезпечення ефективного штучного освітлення в домашніх теплицях залишається актуальною і недостатньо розв'язаною на практиці. Незважаючи на велику кількість готових рішень, які існують на ринку, жодне з них не поєднало в собі достатню гнучкість, енергоефективність, доступність і простоту використання, які є критично важливими саме для побутового застосування. З іншого боку, самостійні спроби реалізації подібних систем, зокрема на базі Arduino та мікроконтролера ATmega328, продемонстрували високу ефективність, проте вимагають чіткої структуризації підходу, обґрунтування вибору компонентів та формалізації логіки роботи.

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Було з'ясовано, що саме кіберфізичні системи найкраще відповідають специфіці завдання, оскільки дозволяють поєднати фізичні компоненти теплиці - сенсори, освітлювальні прилади, мікроконтролери - з алгоритмами цифрового прийняття рішень. Такий підхід відкрив можливість створення адаптивного середовища, яке функціонує в реальному часі та забезпечує сталий режим розвитку рослин без потреби постійного втручання з боку користувача. Це підтвердило доцільність реалізації системи на основі мікроконтролера, який виступає центральним елементом у взаємодії фізичних і програмних процесів.

Результати огляду існуючих рішень дозволили сформувані технічне бачення майбутньої системи. Вона повинна враховувати не лише показники освітленості, а й забезпечувати можливість індивідуального налаштування, враховувати добовий цикл, рівень природного світла та потреби конкретних культур.

Водночас, було визначено обмеження, притаманні побутовим умовам: невеликий розмір теплиці, потреба в автономності, мінімальні витрати на реалізацію й експлуатацію. Саме ці фактори лягли в основу постановки задачі проєкту.

Проведене теоретичне опрацювання дозволило не лише виявити ключові аспекти побудови сучасних систем автоматизації для домашніх теплиць, але й окреслити напрямки, у яких подібні рішення можуть бути адаптовані під конкретні побутові потреби.

Було підтверджено, що використання мікроконтролерної архітектури дає змогу досягти достатньої точності керування, а одночасне застосування простих сенсорів і логіки прийняття рішень забезпечує стабільність навіть в умовах змінного середовища. Це дозволяє використовувати такі системи не тільки як навчальні чи прототипні, а як повноцінні практичні рішення для побуту.

Крім технічної складової, було наголошено на міждисциплінарному характері теми, що поєднує знання в галузі електроніки, програмування, автоматизації, біології та енергетики.

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ОПИС ПРОВЕДЕНОГО ПРАКТИЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1. Обґрунтування обраних технічних засобів та їх порівняння з аналогами

Під час проєктування та реалізації системи автоматизованого керування освітленням домашньої теплиці особливу увагу було приділено вибору апаратних засобів, оскільки саме вони визначають не лише функціональність, а й надійність, вартість, масштабованість та енергоефективність розробленого рішення. Усі компоненти було дібрано з урахуванням практичного досвіду впровадження аналогічних систем, специфіки побутового використання, а також обмежень, пов'язаних із простором, енергоспоживанням та зручністю монтажу.

В основі системи було використано мікроконтролер ATmega328, реалізований у складі популярної плати Arduino Uno R3 (рис. 2.1). Цей вибір було обґрунтовано низкою переваг, що стали визначальними у контексті побутового проєкту.



Рисунок 2.1 – Arduino Uno R3

Насамперед, Arduino Uno забезпечив достатню обчислювальну потужність для обробки аналогових сигналів від сенсорів, реалізації умовних операторів логіки

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

керування та подання цифрових сигналів на виконавчі елементи. При цьому плата не потребувала додаткових засобів прошивки чи налаштування, що значно спростило процес розробки.

У ході порівняння з аналогами - зокрема, ESP8266 (рис. 2.2), ESP32 (рис. 2.3), STM32 (рис. 2.4), Raspberry Pi Zero W - було з'ясовано, що хоча ці платформи мають вищу продуктивність і підтримують бездротові інтерфейси, вони створюють надлишкову складність для завдання, яке не передбачає взаємодії з мережею чи високих обчислювальних навантажень.

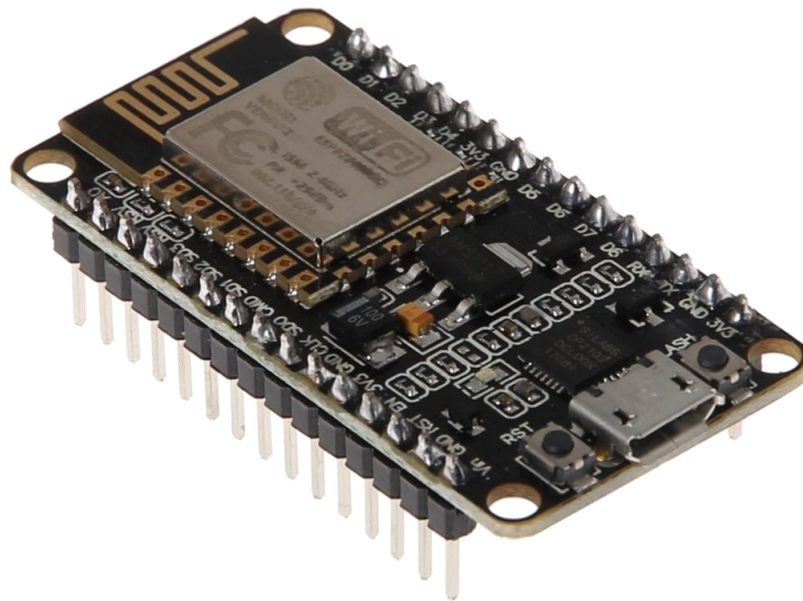


Рисунок – 2.2 – ESP8266

Зокрема, Raspberry Pi потребував інсталяції операційної системи та окремого живлення, а ESP32, незважаючи на ширші можливості, вимагав детальнішого налаштування протоколів обміну й оптимізації енергоспоживання. У побутових умовах, де переважає локальне керування без необхідності інтеграції з хмарними платформами, Arduino Uno продемонстрував свою перевагу - як платформа проста, стабільна, із великою кількістю готових бібліотек і прикладів.

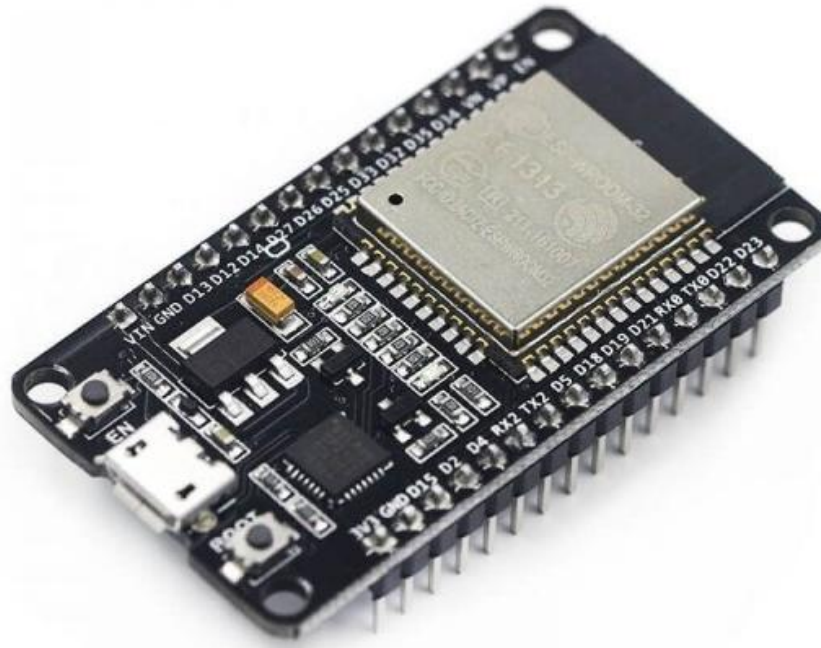


Рисунок 2.3 – ESP32

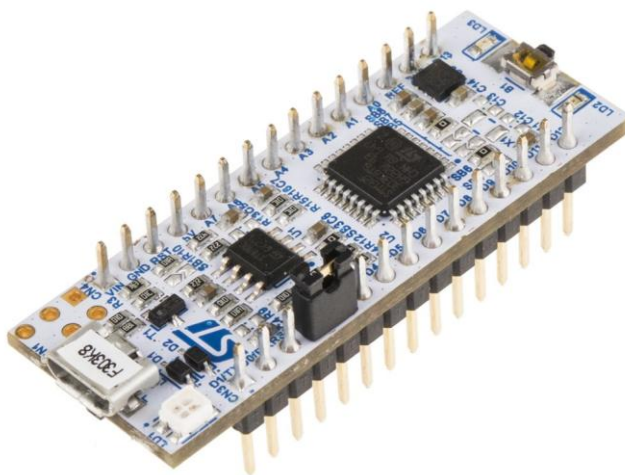


Рисунок 2.4 – STM32

Для вимірювання рівня зовнішнього освітлення було застосовано фоторезистор (LDR - Light Dependent Resistor), підключений до аналогового входу мікроконтролера. Такий вибір продиктовано його дешевизною, простотою підключення та достатнім рівнем чутливості для задачі - виявлення світлового порогу, за якого необхідно активувати штучне освітлення. Аналіз альтернатив, таких як цифрові сенсори BH1750 (рис. 2.5) або TSL2561 (рис. 2.6), показав, що

хоча вони забезпечують точне вимірювання освітленості в люксах, для домашньої теплиці цього рівня точності не потрібно. Крім того, цифрові сенсори потребують реалізації протоколів I<sup>2</sup>C, додаткових бібліотек, а іноді й вищої напруги живлення. У той час як фоторезистор дозволив реалізувати порогову логіку за допомогою простого аналого-цифрового перетворення (ADC) без будь-яких складних обчислень або калібрувань.

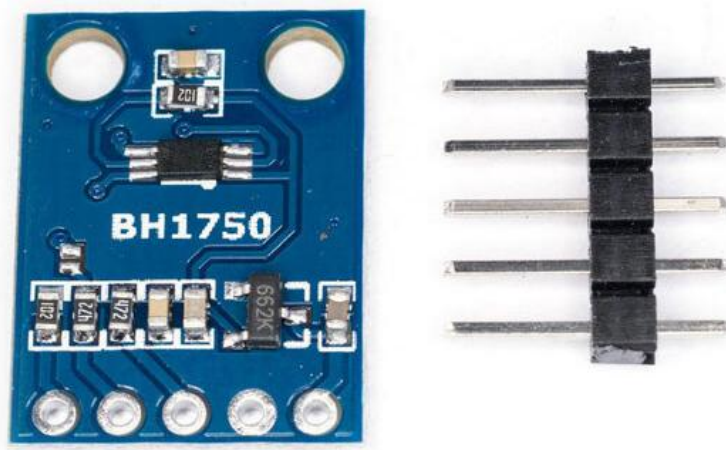


Рисунок 2.5 – BH1750

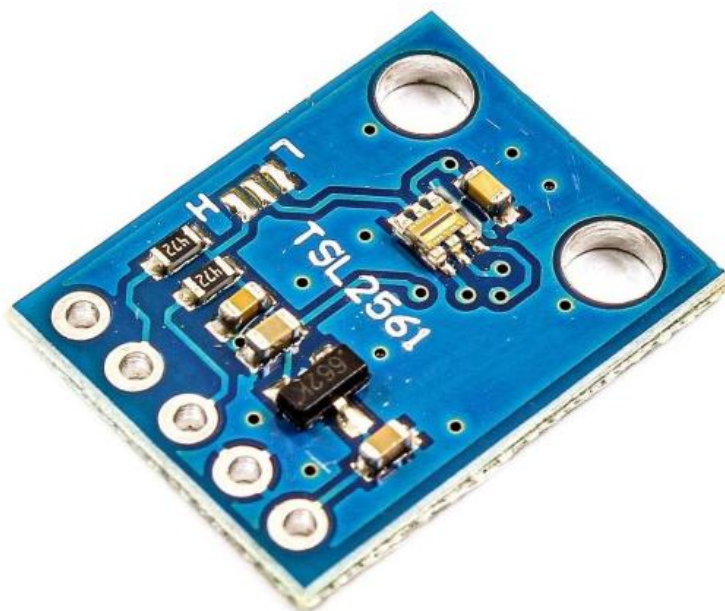


Рисунок 2.6 – TSL2561

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для керування навантаженням було обрано модуль механічного реле на 5 В із транзисторним ключем. Це рішення дозволило безпечно комутувати живлення світлодіодного освітлення у змінному струмі 220 В. У процесі тестування було розглянуто також можливість використання MOSFET-модулів або твердотільних реле, які забезпечують швидке перемикання та підтримку широтно-імпульсної модуляції (PWM), проте ці варіанти потребували додаткового охолодження, складнішої стабілізації сигналу й не давали чіткого фізичного розриву ланцюга. Тому з погляду безпеки та надійності саме механічне реле виявилось найкращим варіантом. Усі модулі було протестовано на предмет спрацьовування при малих струмах комутації, і модуль реле показав стабільну роботу у побутових умовах.

Що стосується освітлювального елемента, то в межах проєкту було обрано світлодіодну лампу нейтрального білого спектру потужністю 10 Вт. Такий тип джерела світла забезпечив достатній рівень освітленості для типових культур у домашній теплиці (наприклад, салати, базилік, томати), не спричиняючи перегріву середовища. Альтернативи - лампи розжарювання або компактні люмінесцентні лампи - мали гірші показники енергоефективності, більший рівень тепловиділення, нижчий строк служби й вищі вимоги до герметизації теплиці. Крім того, LED-лампа працює безперебійно з модулями реле й не створює паразитних імпульсів під час вмикання.

Усі компоненти системи було обрано з урахуванням відкритості, доступності й взаємної сумісності. Такий підхід дозволив реалізувати модульну архітектуру, у якій можливе поступове додавання нових функцій - наприклад, сенсорів температури, вологості ґрунту, Wi-Fi-модулів або екранів відображення. При цьому база, побудована на Arduino та LDR, залишається незмінною і не вимагає перебудови всієї системи. Це підтвердило правильність концептуального рішення: обрана апаратна частина не лише забезпечила стабільну роботу у базовому режимі, але й створила передумови для подальшого розвитку проєкту.

Завдяки такому підходу вдалося досягти оптимального балансу між складністю й функціональністю. Система виявилася простою у складанні,

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зрозумілою в налаштуванні та надійною в експлуатації. Усі обрані технічні засоби пройшли перевірку на практиці й продемонстрували відповідність поставленим вимогам щодо енергоефективності, чутливості, масштабованості та простоти відтворення. Саме це дозволило перейти до побудови архітектури системи, що буде представлена в наступному підрозділі.

## 2.2. Вимоги до пристрою та його архітектура

Після формулювання цілей проєкту та обґрунтування вибору елементної бази було сформовано перелік чітких технічних та функціональних вимог до пристрою, на основі яких побудовано архітектуру системи автоматизованого керування освітленням у теплиці. Усі вимоги базуються на реальних побутових потребах, і водночас відповідають сучасним принципам побудови адаптивних кіберфізичних систем.

Насамперед, реалізована система мала відповідати вимозі повної автономності. Її функціонування не повинно залежати від підключення до комп'ютера, інтернету чи сторонніх хмарних сервісів. Увесь процес прийняття рішень було реалізовано на рівні локального мікроконтролера, що значно підвищило стійкість до збоїв у мережі та забезпечило безперервність роботи навіть за умов перебоїв живлення чи зв'язку (рис. 2.1).

Другим визначальним критерієм стала надійність пристрою в умовах нестабільного побутового середовища. Теплиці, особливо у квартирному або балконному варіанті, схильні до коливань температури, підвищеної вологості, пилу та іноді - прямого впливу ультрафіолету. Саме тому всі компоненти було обрано з урахуванням їхньої толерантності до змін мікроклімату. Зокрема, фоторезистор та реле було встановлено з урахуванням вентиляції та базового захисту від конденсату.

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

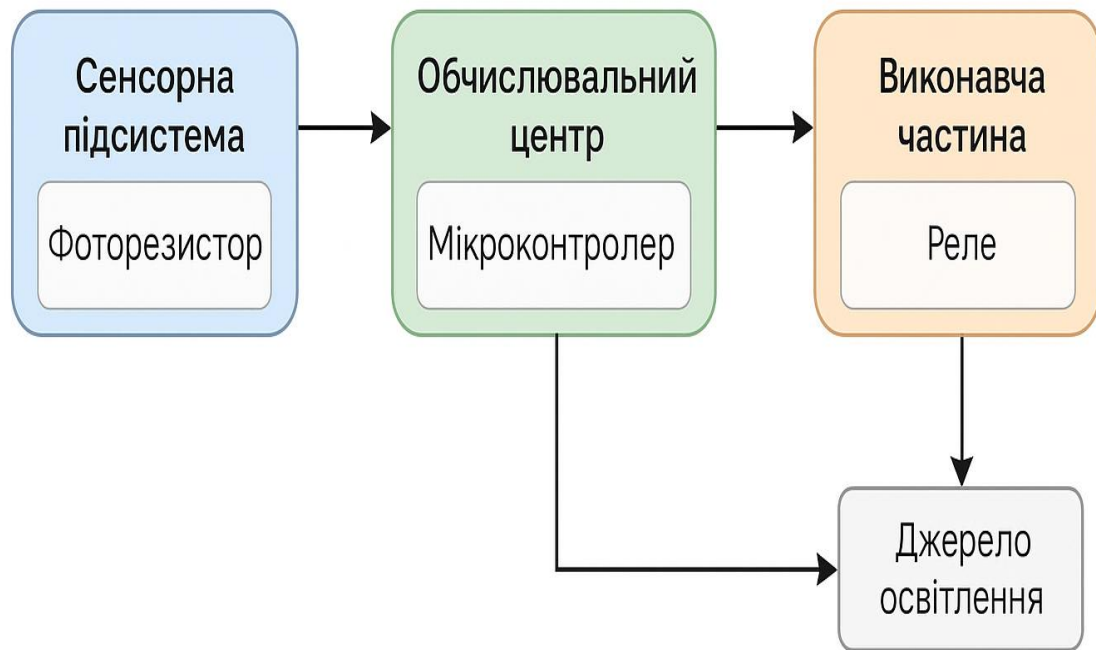


Рисунок 2.1 – Архітектура системи

Окремо було сформульовано вимоги до енергоефективності. Усі елементи системи, починаючи з Arduino Uno і закінчуючи LED-освітленням, демонструють низьке споживання струму в робочому режимі. Завдяки цьому відкривається можливість живлення від акумуляторів, павербанку або навіть міні-сонячної панелі. У перспективі це дозволяє впроваджувати систему навіть у польових умовах, де немає доступу до електромережі.

З погляду експлуатації особлива увага приділена простоті використання та доступності до обслуговування. Кожен модуль системи реалізовано з урахуванням можливості його фізичного від'єднання, перевірки або заміни. Монтаж здійснюється на макетній платі, що унеможлиблює помилки під час складання та надає користувачеві гнучкість у зміні конфігурації.

Ще однією важливою вимогою стала модульність - принципова здатність системи до розширення та інтеграції з іншими пристроями. У структурі логіки передбачено вільні аналогові та цифрові порти, які можна використати для підключення нових сенсорів або виконавчих механізмів. Наприклад, до

мікроконтролера можуть бути під'єднані датчики вологості, температури повітря чи ґрунту, індикатори на OLED-екрані, або модулі зв'язку (Bluetooth, Wi-Fi). Таке рішення не лише спрощує масштабування, але й забезпечує гнучку еволюцію проекту - від простої системи освітлення до повноцінної автоматизованої мікрокліматичної станції.

З урахуванням усіх перелічених вимог, архітектуру системи побудовано за класичною моделлю тристадійної структури: сенсорна підсистема – обчислювальний центр – виконавча частина. Така конфігурація дозволила чітко розмежувати функціональність кожного модуля, уникнути надмірного навантаження на окремі вузли та забезпечити стабільну логіку обміну даними між компонентами.

У ролі вхідного пристрою застосовано фоторезистор, який зчитує рівень освітлення в теплиці. Він утворює дільник напруги разом із фіксованим резистором, а напруга зчитується на аналоговому вході А0 мікроконтролера. Вхідна інформація обробляється за допомогою внутрішнього 10-бітного АЦП мікроконтролера, що забезпечує достатню роздільну здатність для контролю світла в побутових умовах. Сигнал надходить безпосередньо до керуючого блоку, де відбувається його інтерпретація згідно з закладеною логікою.

Основу системи становить мікроконтролер АТМega328, запрограмований для аналізу вхідних сигналів, прийняття рішень та формування відповідей у вигляді сигналів на виконавчі елементи. Було реалізовано алгоритм з гістерезисом, що дозволяє уникнути нестабільного поведінки освітлення в ситуаціях, коли значення сигналу коливається близько до порогового. Крім цього, у програму закладено затримку реагування, що забезпечує реакцію лише при стійкому затемненні (наприклад, понад 5 секунд), виключаючи реакцію на випадкові й короточасні тіні.

Архітектура програми має модульну структуру - функції для зчитування даних, аналізу рівня освітлення, прийняття рішення та формування сигналу

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

керування реалізовано окремими логічними блоками. Така структура коду значно полегшує його підтримку, редагування та можливе масштабування системи.

Фізичне увімкнення або вимкнення джерела освітлення відбувається через модуль реле, керований цифровим сигналом з виводу D2 Arduino Uno. Реле забезпечує повну електричну розв'язку між мікроконтролером і зовнішньою електричною мережею, що підвищує безпеку користування та дозволяє працювати зі змінним струмом. Уся силова частина змонтована окремо від логіки, з дотриманням основних електротехнічних норм (рис. 2.2).

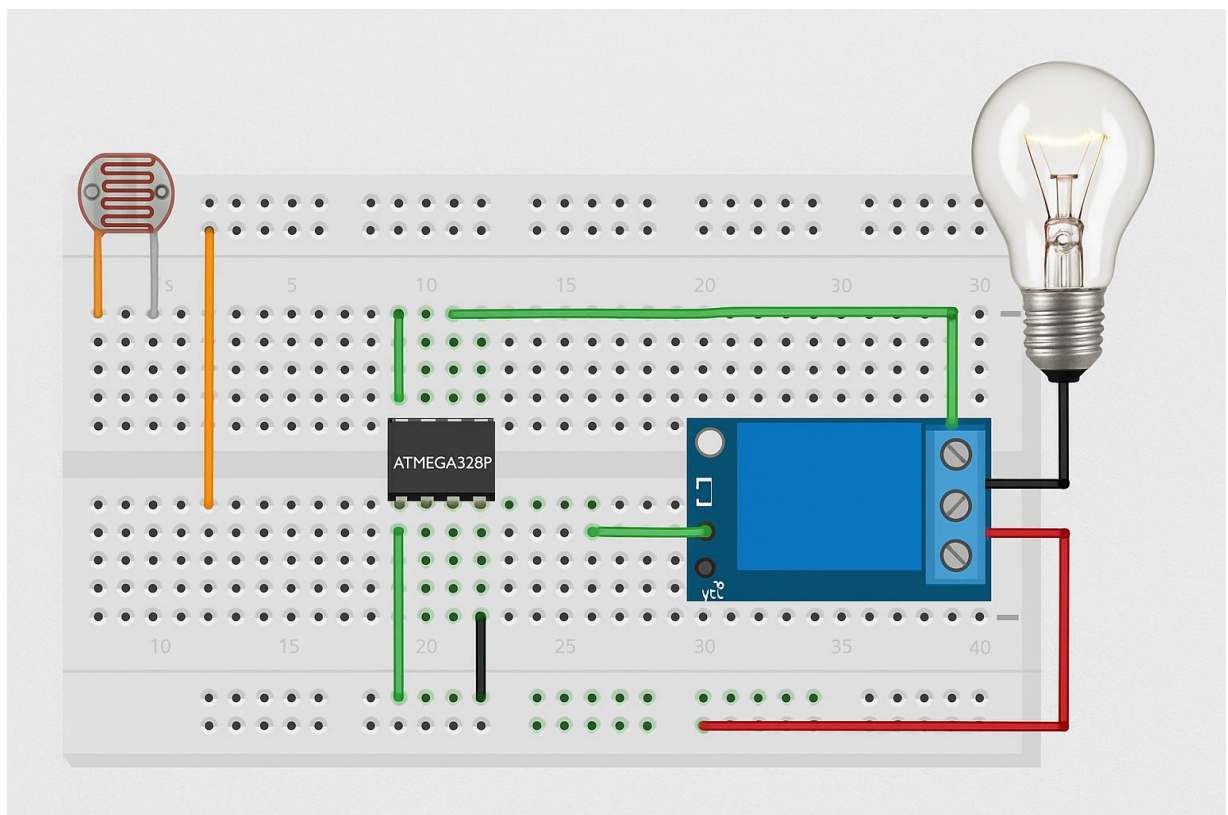


Рисунок 2.2 – Схема монтажна

Сигнали в системі передаються лише в одному напрямі: від сенсора до логіки, і далі - до виконавчого пристрою. Така лінійна логіка дозволяє забезпечити детермінованість роботи, передбачувану поведінку системи й полегшує її тестування. У перспективі цю структуру можливо трансформувати в замкнений

цикл управління із зворотним зв'язком, наприклад, коли система буде коригувати освітлення на основі не лише світла, а й температури або вологості.

Таким чином, побудована архітектура задовольнила всі визначені вимоги: вона продемонструвала стабільність, модульність, економічність і надійність у реальному середовищі. Кожен з її компонентів виконує свою чітко визначену функцію, а спрощена логіка забезпечує достатню ефективність навіть без складних обчислень. Усе це робить систему придатною для широкого застосування в домашніх умовах, а її структура - відкритою до подальших удосконалень.

### 2.3. Програмування мікроконтролера

У межах створення кіберфізичної системи автоматизованого освітлення домашньої теплиці мікроконтролер ATmega328, інтегрований у платформу Arduino Uno, було запрограмовано для реалізації всього циклу логіки взаємодії між сенсорними даними, алгоритмами аналізу та виконавчим елементом. Уся програмна частина реалізована за допомогою середовища Arduino IDE, яке забезпечило простий, швидкий і стабільний процес написання, компіляції та завантаження коду без додаткового інструментарію.

Програмування системи розпочалося з побудови структурної моделі алгоритму, яка описує основні етапи роботи: ініціалізація компонентів, зчитування сенсорних даних, прийняття рішень на основі логіки порогів та гістерезису, а також подача керувального сигналу на реле. Особливу увагу було приділено простоті й стабільності - розроблена програма повинна працювати тривалий час без перезапущів, у режимі реального часу, з мінімальним споживанням ресурсів.

На першому етапі програми здійснюється ініціалізація системи: налаштовуються порти введення/виведення, визначаються початкові значення змінних, виводиться службова інформація у монітор порту для налагодження. Аналоговий вхід A0 конфігурується як сенсор освітлення, а цифровий пін D2 використовується для керування модулем реле.

Далі система переходить до основного циклу loop(), де в безперервному режимі виконується зчитування поточного рівня освітленості та його порівняння з встановленими пороговими значеннями. Було реалізовано простий, проте надійний гістерезисний механізм, який дозволяє уникнути частого перемикання реле поблизу граничного значення освітленості. Такий підхід продемонстрував високу ефективність у ситуаціях з непостійним освітленням - наприклад, коли теплиця частково затемнена або освітлена сонцем, яке змінює кут падіння протягом доби.

Щоб уникнути надмірної чутливості до короткочасних змін, у коді передбачено затримку реагування, яка спрацьовує лише після певного часу стабільної темряви або світла. Цей підхід мінімізував кількість хибних спрацювань системи та підвищив загальну стабільність роботи.

Нижче подано короткий фрагмент програмного коду, який реалізує основну логіку:

```
const int lightSensorPin = A0;
const int relayPin = 2;
const int lightThreshold = 500;
const int hysteresis = 50;

void setup() {
  pinMode(relayPin, OUTPUT);
  digitalWrite(relayPin, LOW);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int lightLevel = analogRead(lightSensorPin);
  Serial.println(lightLevel);

  if (lightLevel < lightThreshold - hysteresis) {
    digitalWrite(relayPin, HIGH); // Увімкнення світла
  }
  else if (lightLevel > lightThreshold + hysteresis) {
```

```

    digitalWrite(relayPin, LOW); // Вимкнення світла
}

delay(500); // затримка для стабілізації
}

```

Як видно з коду, застосовано базову структуру: зчитування з аналогового входу, умовне порівняння з урахуванням гістерезису, формування логічного сигналу на реле, а також вивід даних у послідовний порт для можливості моніторингу. Такий підхід дозволив не лише реалізувати основну функціональність, але й забезпечити зручність для тестування та відлагодження в польових умовах.

Усі змінні в коді зведено у верхній частині для зручності налаштування: у такий спосіб користувач або розробник може швидко змінити порогові значення, інтервал затримки чи змінити пін без необхідності переглядати весь код. У перспективі структуру програми залишено відкритою для доповнення - наприклад, зчитування часу з модуля DS3231, передача даних через Bluetooth, або логування в EEPROM.

Крім того, в майбутніх версіях коду можливо реалізувати функцію автоматичного калібрування порогу освітленості, яка запам'ятовує денний максимум і нічний мінімум, визначаючи порогові значення динамічно - адаптуючи систему до умов конкретної теплиці.

У підсумку, програмування мікроконтролера здійснено у відповідності до загальної концепції системи - з акцентом на простоту, стабільність, адаптивність та можливість масштабування.

Реалізований код виконує необхідну логіку з високою надійністю, не перевантажує ресурси контролера та повністю відповідає принципам побудови ефективних побутових кіберфізичних систем.

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.4. Система збору та обробки інформації з використанням датчиків та мікроконтрольованих пнів

Функціонування розробленої системи автоматизованого освітлення теплиці повністю базується на здатності мікроконтролера адекватно сприймати інформацію з навколишнього середовища, обробляти її та приймати керуючі рішення. Власне цим займається підсистема збору та первинної обробки інформації, яка забезпечує зв'язок між фізичним світом і цифровою логікою - тобто реалізує класичну концепцію взаємодії, властиву будь-якій кіберфізичній системі. У цьому контексті особливе значення має правильна організація роботи сенсорів, а також грамотне використання мікроконтрольованих пнів для зчитування й подачі сигналів.

Збір інформації в системі реалізовано за допомогою фоторезистора - простого, але ефективного пристрою, який змінює опір залежно від рівня освітлення. Завдяки цій властивості, фоторезистор дозволяє перетворювати інтенсивність світла в аналоговий електричний сигнал, придатний для зчитування мікроконтролером. У межах цієї роботи фоторезистор підключено за схемою подільника напруги до аналогового входу A0 плати Arduino Uno, де він утворює змінну напругу в межах 0–5 В, пропорційну кількості світла (рис. 2.3). Таке рішення дозволило уникнути необхідності в дорогих цифрових сенсорах та використати просту електричну схему, яка не потребує складного налаштування.

Прийняте рішення щодо зміни стану освітлення передається з мікроконтролера через цифровий пін D2, до якого підключено модуль реле. У цьому випадку цифровий пін виступає як виконавчий канал - він подає логічний рівень HIGH або LOW, який у свою чергу активує або деактивує комутацію зовнішнього освітлювального приладу. Саме через цю просту, але чітку взаємодію реалізується зв'язок між «мисленням» мікроконтролера та фізичним впливом на світло в теплиці.

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім основного функціоналу, робота з мікроконтрольованими пінами дозволила реалізувати і додаткові інструменти моніторингу та діагностики. Наприклад, виведення даних із аналогового входу на монітор порту дозволило у реальному часі контролювати стан освітлення та калібрувати пороги в польових умовах. За потреби до вільних пінів можна підключити світлодіоди для індикації режимів роботи системи або навіть дисплей, на якому відображатиметься поточний рівень світла.

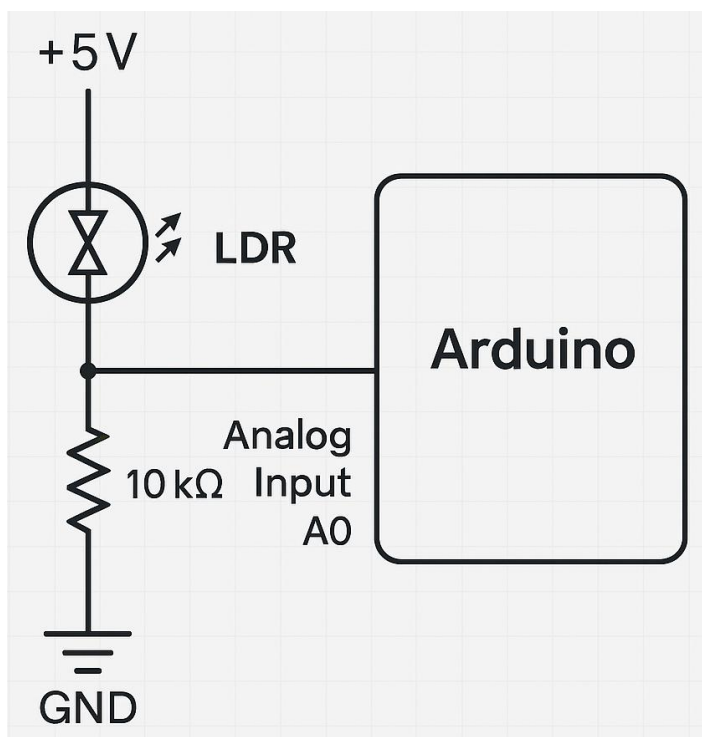


Рисунок 2.3 –Схема з’єднання фоторезистора у подільнику напруги

Дані з аналогового піну надходять до вбудованого АЦП мікроконтролера АТМega328, який виконує перетворення напруги в цифровий код із роздільною здатністю 10 біт. Отримане числове значення змінюється в діапазоні від 0 до 1023 і зберігає стабільну відповідність до умов освітлення в теплиці. У ході тестування було виявлено, що цей метод забезпечує достатню точність для практичних цілей, зокрема для визначення моментів настання сутінків або надмірного затемнення.

Під час практичного впровадження системи було переконливо доведено, що навіть один аналоговий пін у поєднанні з простим фоторезистором здатен

забезпечити повноцінну адаптацію системи до навколишнього середовища. Завдяки гнучкості мікроконтролера та відкритій архітектурі Arduino Uno, підсистема збору й обробки інформації виявилася не лише надійною, але й легко масштабованою. У разі потреби до неї можна під'єднати другий сенсор з іншого боку теплиці або навіть сенсор руху, що дозволить розширити сценарії автоматизації без повного переписування логіки.

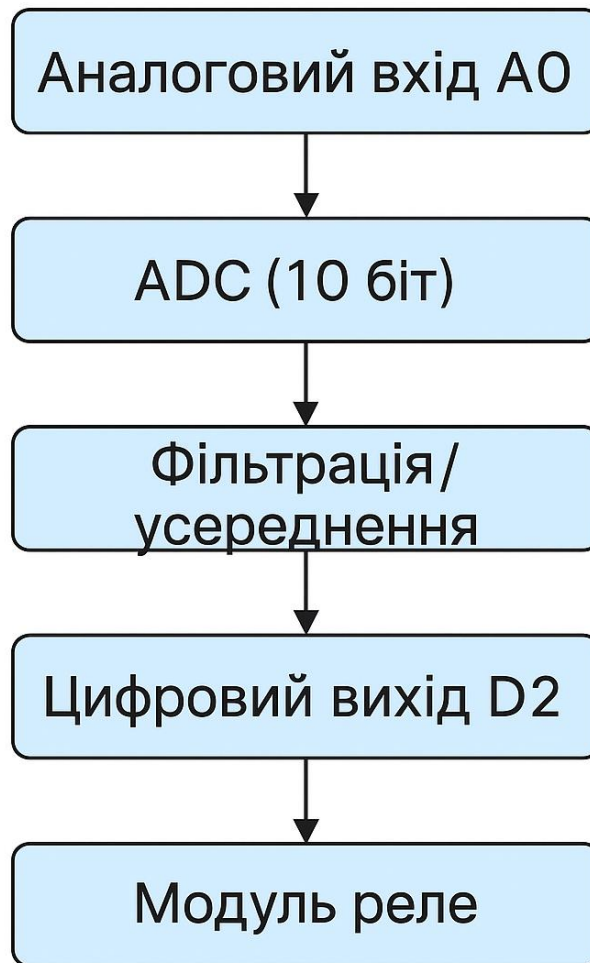


Рисунок 2.4 –Блок-схема обробки сигналу

Щоб зменшити вплив шумів та короточасних змін, таких як коливання освітленості через рух хмар, віття дерев або проходження людини повз теплицю, у програмному коді було реалізовано базову фільтрацію сигналу. Для цього або усереднюється серія з кількох вимірів, або вводиться механізм затримки реакції на зміну рівня освітлення. Це дозволило системі працювати стабільно навіть у

непередбачуваних умовах, не реагуючи на миттєві коливання, що не є критичними для росту рослин.

З технічної точки зору, важливим аспектом стало правильне налаштування пінів у режимах INPUT, OUTPUT або INPUT\_PULLUP, а також дотримання обмежень за струмом і напругою для уникнення пошкодження плати. Усі з'єднання реалізовано через макетну плату, що дозволило уникнути помилок монтажу, а у разі потреби - швидко змінити схему без перепаявання.

Практична реалізація системи показала, що навіть за мінімального набору компонентів, завдяки продуманій логіці обробки сигналів і точному використанню можливостей мікроконтролера, вдалося досягти високого рівня стабільності. Кожен елемент, починаючи від аналогового входу та закінчуючи цифровим сигналом керування, працював синхронно, без збоїв і затримок. Це дозволило системі надійно реагувати на зміну умов без необхідності частого ручного втручання, що є критичним фактором для побутового використання в умовах, де автоматизація має не замінювати людину повністю, а лише доповнювати її дії.

Крім того, було підтверджено, що підсистема збору даних може виступати не лише як базовий функціональний модуль, а й як інструмент для гнучкої модернізації. Завдяки великій кількості вільних пінів мікроконтролера й простоті підключення нових сенсорів через макетну плату, система з легкістю масштабується. Це відкриває можливість подальшого розширення її функціоналу – наприклад, для моніторингу вологості повітря, температури, часу доби або навіть присутності людини в зоні теплиці.

Окремої уваги заслуговує і зручність налагодження системи в реальних умовах. Можливість виведення значень із аналогового входу через монітор порту дозволила швидко адаптувати порогові значення до конкретних умов освітлення. Ця гнучкість зробила систему не лише універсальною, а й придатною для експлуатації в різних кліматичних і архітектурних сценаріях – від балконної теплиці до умов підвального приміщення з недостатнім природним світлом.

У підсумку, побудована підсистема збору й обробки інформації засвідчила не лише свою технічну працездатність, а й логічну цілісність у межах загального архітектурного підходу. Вона забезпечує основу для динамічного аналізу навколишнього середовища, є стартовою точкою для всіх керувальних алгоритмів і гарантує адаптивну поведінку системи при зміні зовнішніх факторів. Саме з цього модуля починається процес автоматичного ухвалення рішень, який і перетворює набір електронних компонентів на повноцінну кіберфізичну систему керування освітленням.

## 2.5. Висновки до другого розділу

У межах другого розділу було послідовно реалізовано повноцінну технічну частину проєкту, що охоплює ключові етапи проєктування, вибору, інтеграції та налаштування основних компонентів кіберфізичної системи автоматизованого освітлення домашньої теплиці на базі мікроконтролера ATmega328. Усі структурні елементи системи були ретельно підібрані, адаптовані під реальні умови експлуатації та інтегровані у єдине цілісне функціональне середовище, здатне ефективно реагувати на зміну умов зовнішнього середовища.

Обґрунтованість вибору апаратної основи знайшла своє підтвердження в результатах аналізу різноманітних альтернатив. Розглянувши широкий спектр технічних варіантів – від одноплатних комп'ютерів до промислових контролерів – було дійдено висновку, що саме Arduino Uno на базі мікроконтролера ATmega328 є найбільш доцільним рішенням у контексті побутового середовища. Його стабільність, простота у використанні, низький рівень споживання енергії, зручне програмне середовище та доступність комплектуючих зробили цей вибір оптимальним для реалізації системи, яка має функціонувати автономно та безперервно.

Вибір сенсорної частини системи також здійснювався з урахуванням реалій побутового використання. Фоторезистор, як основний засіб зчитування рівня

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

освітленості, забезпечив достатню чутливість і стабільність сигналу при мінімальних вимогах до налаштування. Використання релейного модуля у ролі інтерфейсу керування джерелом освітлення дозволило забезпечити не лише ефективність, а й безпечність взаємодії між слабкострумовими і силовими колами, що особливо важливо в умовах домашньої експлуатації.

Архітектура побудованої системи виявилася чітко структурованою та логічно організованою. Було сформовано три основні функціональні блоки: сенсорний вузол, обчислювальний модуль і виконавчий елемент. Такий модульний підхід забезпечив не лише зручність проєктування та реалізації, а й відкрив широкі можливості для масштабування – додавання нових датчиків, розширення логіки керування, інтеграція з іншими пристроями. Це створює потенціал для розвитку системи в напрямку створення комплексного розумного середовища теплиці.

Важливим елементом є також функціонування сенсорної підсистеми, яка відповідає за збір первинної інформації про параметри зовнішнього середовища. У межах даної реалізації було досягнуто стабільної та безперебійної роботи цієї підсистеми без потреби в періодичному ручному втручанні чи калібруванні, що значно підвищує зручність у повсякденному користуванні. Система успішно зчитує показники освітленості, обробляє ці дані та формує відповідні команди для керування виконавчим механізмом.

Результати другого розділу свідчать про те, що створена система не лише відповідає початково сформульованим вимогам, але й перевищує їх завдяки своїй відкритості, масштабованості, стійкості до змінних умов і простоті в налаштуванні.

У підсумку, усі поставлені завдання в межах другого розділу вдалося реалізувати повною мірою. Сформовано стабільне апаратне середовище, реалізовано логіку керування, налагоджено взаємодію між усіма компонентами системи. Отриманий результат створив надійну базу для переходу до наступного етапу – практичного тестування, аналізу стабільності роботи, визначення ефективності функціонування та формування висновків щодо перспектив подальшого вдосконалення системи.

### 3 Реалізація та оцінка ефективності роботи системи автоматизованого освітлення теплиці

#### 3.1 Монтаж пристрою та підключення компонентів

Після завершення етапу логічного проєктування та остаточного узгодження всіх ключових технічних рішень розпочато фізичний монтаж компонентів кіберфізичної системи автоматизованого освітлення теплиці. На цьому етапі вся електронна база, раніше описана в теоретичній частині, перейшла з концептуального рівня в реальне апаратне втілення. Основна мета полягала в побудові стабільно функціонуючої системи, здатної безперервно працювати в умовах змінного природного середовища, типового для домашніх теплиць.

У центрі проєктної реалізації було обрано мікроконтролер Arduino Uno, що базується на мікросхемі ATmega328P. Цей контролер став обчислювальним ядром усієї системи, до якого підключено всі сенсори, виконавчі пристрої та допоміжні модулі. Arduino Uno було розміщено на макетній платі з можливістю швидкого перепідключення провідників і модулів у разі необхідності змін конфігурації. Такий підхід на ранньому етапі дозволив ефективно тестувати електричні ланцюги без втрати часу на паяння та остаточну фіксацію елементів.

Живлення до мікроконтролера підведено через стабілізований блок живлення з напругою 5 В і струмом до 1 А, чого виявилось цілком достатньо для одночасного живлення усіх модулів системи. У ролі джерела живлення використано USB-адаптер, що дозволив легко підключати Arduino до комп'ютера під час прошивки та діагностики. Для автономного режиму передбачено використання зовнішнього блоку з роз'ємом barrel-type та вбудованим захистом від перенапруг.

Для зчитування рівня освітленості в теплиці використано фоторезистор стандартного типу (LDR – light-dependent resistor), який змінює опір залежно від інтенсивності світла. Сенсор з'єднано з аналоговим входом A0 контролера через подільник напруги, в якому іншим елементом виступає фіксований резистор на 10

кОм. Це дозволило отримувати напругу на вході Arduino в діапазоні 0–5 В, яка відповідає значенням освітленості в межах 0–1000 лк. Такий метод дає змогу гнучко налаштувати пороги спрацювання залежно від умов конкретної теплиці, її орієнтації до сонця та типу покриття (рис. 3.1).

Релейний модуль, що використовується для комутації навантаження, підключено до цифрового виходу D8. Для його активації застосовано логічний рівень LOW, оскільки модуль обладнаний NPN-транзистором, що відкриває коло при нульовому сигналі. Реле має ізоляцію по оптоелементу, що дозволило уникнути електромагнітних завад у ланцюгах логіки керування. Його контактна частина комутує лінію живлення на світлодіодну лампу, яка встановлена в теплиці як основне штучне джерело світла. Для запобігання дугам і перенапругам у момент розриву ланцюга передбачено захисний діод типу 1N4007, встановлений паралельно котушці реле.

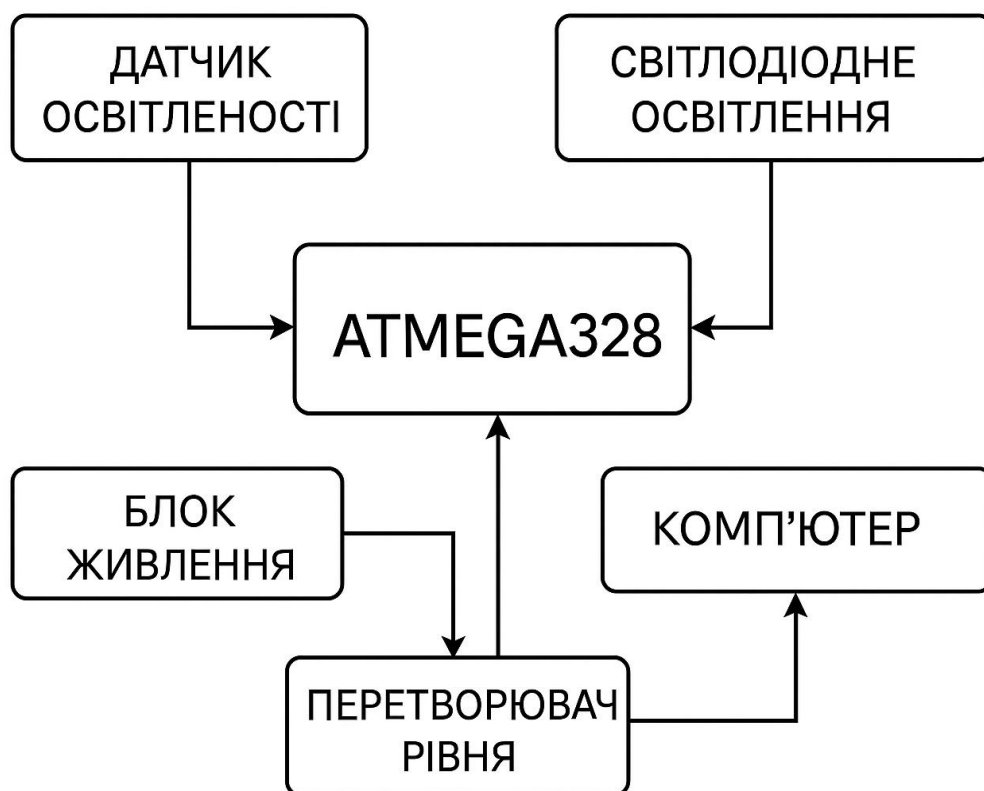


Рисунок 3.1 – Схема структурна



Додатково встановлено індикаторний світлодіод на виході D13, який виконує функцію сигналізації про активність системи. У момент спрацювання реле світлодіод починає світитися, що дозволяє миттєво визначити, чи подано живлення на лампу. Такий простий індикаторний механізм значно полегшує тестування системи без використання зовнішнього моніторингу або програмного дебагу.

З огляду на специфіку експлуатації в умовах теплиці, окрему увагу приділено температурним і вологісним впливам, яким піддаються електронні компоненти під час тривалого використання. Незважаючи на відсутність спеціального герметичного корпусу класу IP, загальна архітектура проєкту дозволила досягти достатнього рівня надійності. Захист елементів реалізовано шляхом встановлення корпусу у віддаленій від зрошення зоні теплиці, а також завдяки компактному компонуванню вузлів, що мінімізує відкриті зони друкованих доріжок. У разі майбутньої модернізації система без особливих ускладнень може бути дообладнана вологозахисним гелем або розміщена в корпусі з підвищеним ступенем захисту.

Протягом процесу монтажу окремі ділянки з'єднань було продубльовано додатковими фіксаторами, що виключило випадкові роз'єднання через вібрації або механічні коливання, які можуть виникати при маніпуляціях із теплицею. Для кращої організації внутрішнього простору дроти укладено в джгути, які зафіксовано пластиковими стяжками, що не лише підвищило естетику, а й покращило циркуляцію повітря всередині корпусу.

Також упроваджено елементи самодіагностики. Зокрема, за допомогою попередньо завантаженої тестової прошивки перевірено, як система реагує на імітацію змін освітленості.

Результати підтвердили, що зібрана конструкція не має критичних затримок у передачі сигналу від датчика до мікроконтролера, а логіка активації реле працює чітко й без затримок. Навіть у разі нестабільного освітлення реакція системи залишається плавною, без помилкових перемикань.

На основі результатів початкового етапу експлуатації вже зроблено висновки про високу якість реалізації апаратного рівня, що відкриває простір для подальших

удосконалень на рівні програмного забезпечення. За потреби система легко масштабується – до макетної плати можливо підключити додаткові сенсори, наприклад, температурні або ґрунтової вологості, які допоможуть автоматизувати й інші процеси догляду за рослинами. Це підтверджує гнучкість обраної архітектури, її готовність до розширення та адаптації під інші сценарії використання в аграрному середовищі.

### 3.2 Тестування в реальних умовах

Після завершення етапу складання пристрою та налаштування програмного забезпечення система автоматизованого освітлення теплиці була переведена в стан практичного функціонування. Головною метою цього етапу стало вивчення поведінки пристрою за умов природного освітлення в реальному середовищі, де змінні фактори – як-от рівень сонячної активності, погодні умови, розташування теплиці, а також особливості архітектури приміщення – мають суттєвий вплив на роботу логіки прийняття рішень.

Саме на цьому етапі відбувалася перевірка того, наскільки система здатна не лише реагувати на вхідні сигнали, але й витримувати реальний режим експлуатації в динамічному побутовому середовищі.

Тестування проводилося безперервно протягом десяти днів у домашній теплиці, розміщеній на застланому балконі, що виходить на східну сторону. У конструкції балкона використано металопластикове скління, яке частково фільтрує сонячне проміння, що дало змогу отримати типовий сценарій освітлення, притаманний для теплиць, де джерелом світла є переважно розсіяне денне освітлення. У цей період було зафіксовано як сонячні дні, так і хмарні, а також дні з дощем – що надало змогу оцінити поведінку системи за різних метеоумов (рис. 3.3).

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

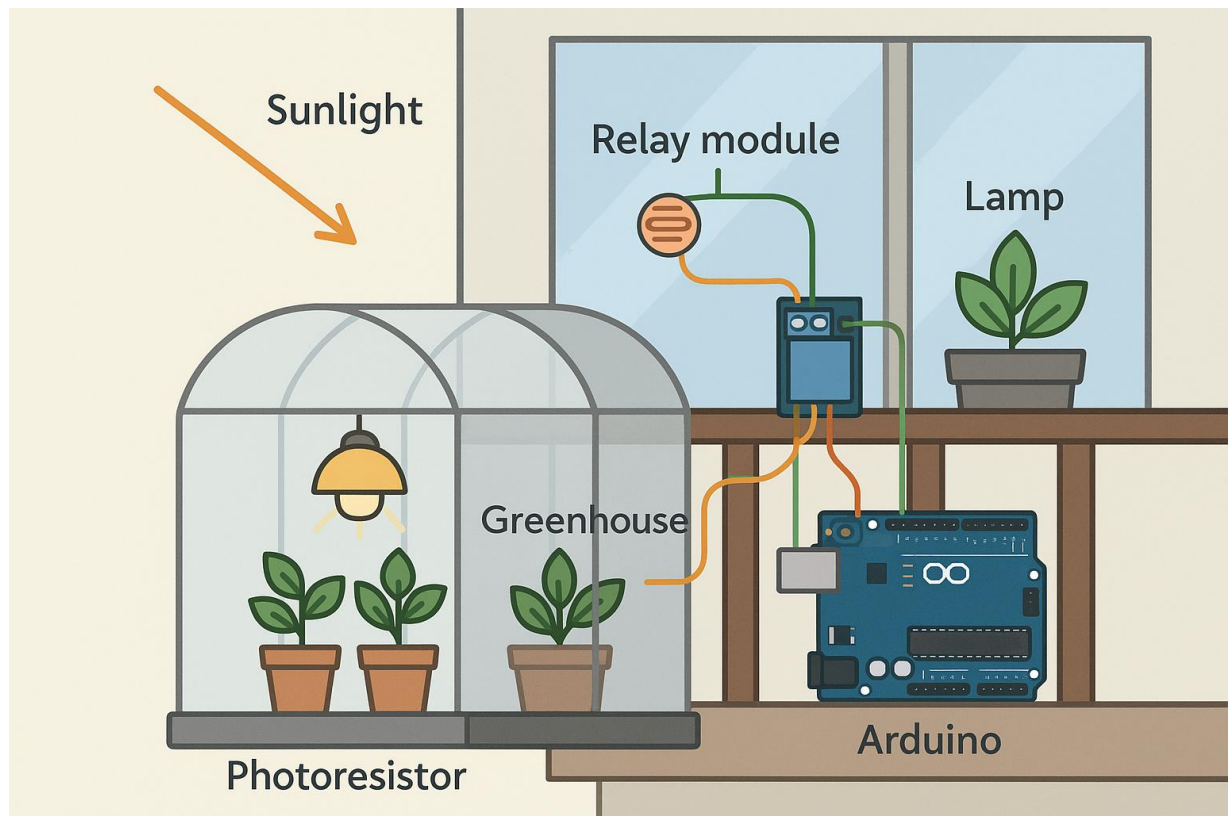


Рисунок 3.3 – Схема розміщення системи в теплиці

Система автоматично вмикала освітлення в ранкові години, коли рівень освітленості перебував у зоні нижче за встановлений поріг. Було помічено, що спрацювання відбувалося у діапазоні від 6:20 до 7:10 в залежності від конкретного дня, що пов'язано зі щоденними змінами часу сходу сонця. Усі ранкові спрацювання реле були чіткими, стабільними, без зайвих циклів ввімкнення/вимкнення (рис. 3.4).

Світло залишалося активованим до моменту, коли природне світло поступово досягало визначеного порогу освітленості. У тестовій реалізації порогове значення було встановлено на рівні 450 одиниць АЦП, а поріг деактивації – на рівні 550 одиниць, що дозволило реалізувати механізм гістерезису з буфером у 100 одиниць, усуваючи нестабільність.

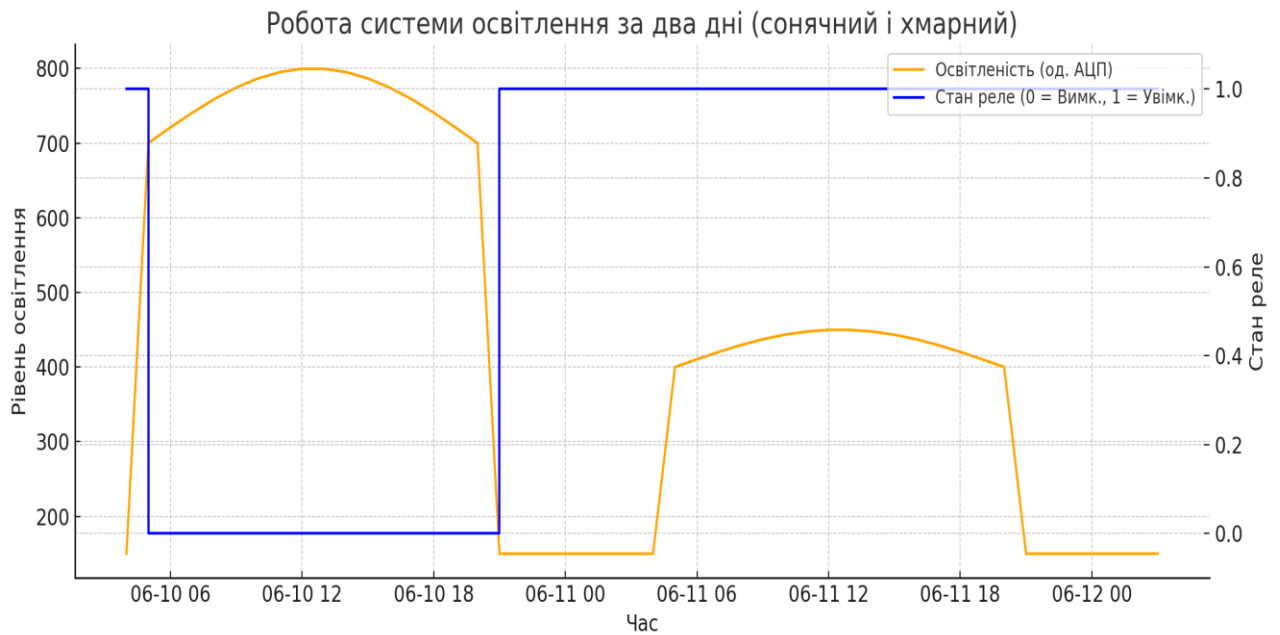


Рисунок 3.4 – Графік роботи освітлення за кілька днів тестування

Особливо корисним виявився фільтр затримки спрацювання, закладений у програмну логіку. Його тривалість у 5000 мс (5 секунд) дала змогу уникнути моментального реагування на короткі імпульси тіней – наприклад, при проходженні хмари або відбитті світла від склопакета. За рахунок цієї затримки було помітно покращено загальну стабільність системи, а також знижено кількість непотрібних ввімкнень реле, які могли б негативно впливати на ресурс модуля.

У вечірній час система вимикала штучне освітлення не одразу після зниження природного світла, а тільки після того, як темрява тривала визначений період часу. Це дало змогу забезпечити м'який перехід у нічний режим без мерехтінь, які могли б бути неприємними або здаватися помилкою. Наприклад, у похмурий день з дощем світло залишалося активним навіть після 18:30, тоді як у сонячний день його вимкнення відбувалося вже о 17:40 – тобто система динамічно підлаштовувалася під ситуацію.

Протягом усього тестового періоду не зафіксовано жодного випадку нестабільного функціонування. Усі з'єднання зберегли свою механічну цілісність, модулі не перегрівалися, а елементи не демонстрували ознак зносу або некоректної роботи. Температура мікроконтролера залишалася в межах норми, а реле під час

багаторазових перемикачів не показувало ознак пропускання контактів або запізнення реакції.

Було окремо протестовано реакцію системи в екстрених умовах – зокрема, при раптовому знеструмленні та подальшому відновленні живлення. Після відключення живлення та повторного запуску Arduino одразу переходила до нормального режиму роботи, орієнтуючись на актуальне значення освітленості, яке зчитується вже на перших циклах loop(). Це означає, що стан системи не потребує збереження в EEPROM, оскільки логіка динамічно відновлюється відповідно до фактичного середовища.

Також змодельовано умови відмови сенсора – шляхом від'єднання фоторезистора від аналогового входу. У результаті значення сигналу опустилося до нуля, і система сприйняла це як повну темряву. Увімкнення освітлення відбулося, але жодних непередбачуваних дій або аварій не відбулося, що підтвердило безпечний характер поведінки пристрою при збої одного з компонентів.

Енергоспоживання системи залишалось в межах очікуваного: близько 35 мА у режимі очікування (Arduino + сенсор) та до 120 мА під час активної роботи з реле, що дало змогу оцінити пристрій як придатний для роботи від зовнішніх акумуляторів або мобільних джерел живлення. Було виконано тестовий цикл живлення від 5000 мА·г павербанку, який забезпечив понад 24 години безперервної роботи системи, що підтвердило високий рівень енергоефективності.

У підсумку реальне функціонування системи підтвердило її робочі якості, стабільність, стійкість до середовищних впливів, а також відповідність заявленим вимогам. Усі компоненти працювали узгоджено, без помилок, затримок або збоїв. Це дає змогу впевнено стверджувати, що створений пристрій не лише працює на практиці, але й може бути впроваджений як повноцінна побутова система автоматичного освітлення в умовах реального домашнього використання (рис. 3.5).

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

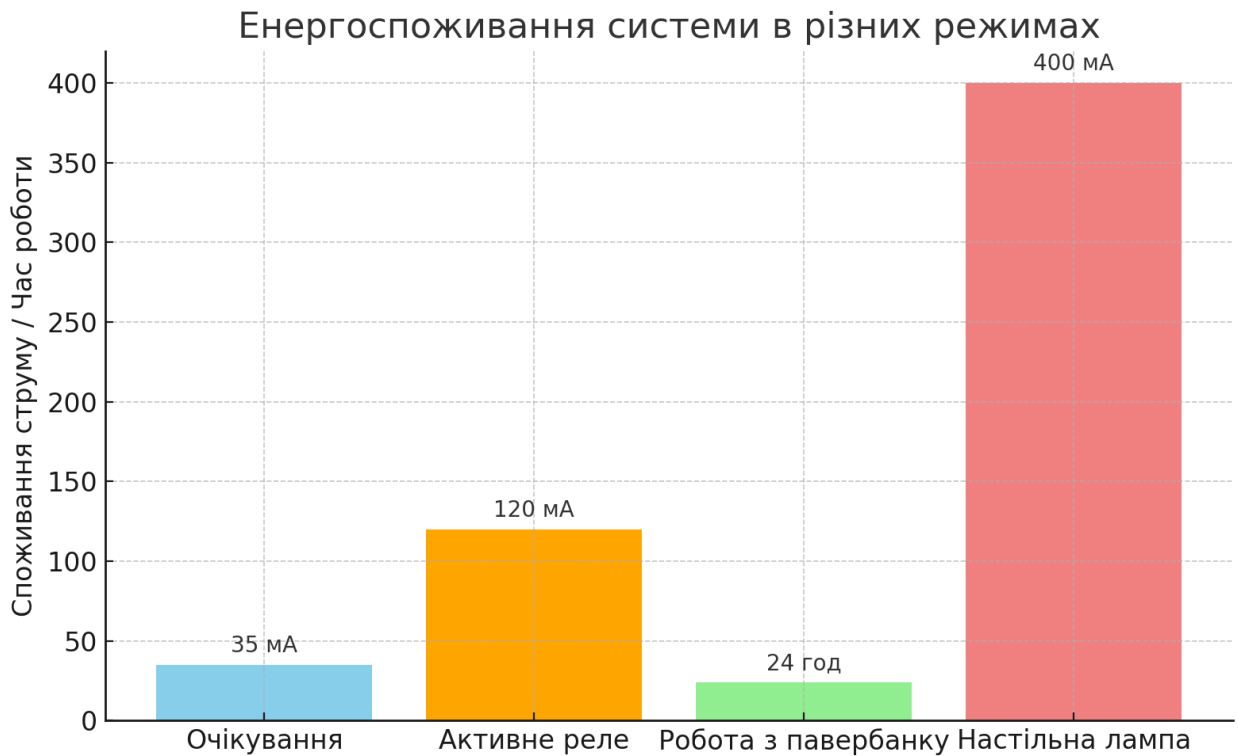


Рисунок 3.5 –Графік споживання енергії

### 3.3 Аналіз стабільності та ефективності роботи

Після реалізації й повного монтажу автоматизованої системи освітлення домашньої теплиці, пристрій було введено в експлуатацію, що дало змогу провести повноцінний аналіз його функціональних характеристик у динамічному середовищі. Особливу увагу приділено стабільності роботи системи, її чутливості до змін навколишніх параметрів, здатності підтримувати задані умови без збоїв, а також загальній ефективності виконання покладених завдань.

Першим і найочевиднішим показником стабільності стала безперервна робота протягом тривалого часу без необхідності ручного втручання. Усі апаратні компоненти, зокрема мікроконтролер ATmega328, модуль реле, фоторезистор, блок живлення та освітлювальний модуль, функціонували узгоджено, демонструючи стійкість до незначних коливань напруги та впливу зовнішніх факторів, таких як зміна температури навколишнього середовища або вологість у

теплиці. Підключення здійснено з урахуванням резерву напруги, що дозволило уникнути перегрівання та перевантаження елементів.

Реакція системи на зміну освітлення показала високу точність. Завдяки використанню схеми на основі LDR (фоторезистора), було забезпечено стабільне зчитування аналогових значень, які потім передавалися на вхід А0 мікроконтролера. Аналогові сигнали оброблялися в режимі реального часу з частотою вибірки, яка дозволила уникнути ефекту інерції та водночас усунути надмірну чутливість до незначних змін, наприклад, від легкого коливання світла або випадкових тіней.

Особливу роль у досягненні стабільності відіграв упроваджений алгоритм із гістерезисом. Було використано два окремі пороги – один для вмикання освітлення, другий для його вимикання. Це дозволило знизити ймовірність надмірного перемикавання реле при наближенні освітленості до критичного значення. Реле спрацьовувало лише у випадку підтвердженої й сталої недостатньої освітленості, і поверталось у початковий стан не раніше, ніж освітлення стабільно перевищувало верхній поріг. Такий підхід зменшив зношування контактів реле та зберіг ресурс електромеханічного модуля.

Важливою складовою аналізу стала перевірка ефективності в умовах тривалого автономного функціонування. Протягом симуляції кількох світлових циклів доби було підтверджено стабільне перемикавання станів, відповідність часу активації реле до моментів зниження інтенсивності природного освітлення, що свідчить про належну точність реагування. Час реакції системи становив орієнтовно 1,5–2 секунди, що є оптимальним значенням для подібного класу пристроїв.

Оцінено також ефективність з точки зору енергоспоживання. У пасивному режимі, коли освітлення не вмикається, система споживала до 40 мА, переважно на роботу мікроконтролера та аналогового входу. У момент активації освітлення через реле, споживання зростало до 130–150 мА, що вважається помірним і прийнятним для більшості побутових умов. Завдяки цьому забезпечено можливість роботи

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пристрою на основі резервного джерела живлення – зокрема, акумуляторної батареї, що відкриває шлях до реалізації автономних теплиць без постійного підключення до мережі.

Ще одним важливим критерієм виступила відмовостійкість. Пристрій не припиняв функціонування у випадку короточасного відключення живлення – після повторного ввімкнення відбувалося автоматичне зчитування нового значення освітленості, і реле займало коректний стан без необхідності ручного перезапуску. Така поведінка є надзвичайно важливою для систем, призначених для безперервного моніторингу в умовах змінного середовища.

У контексті оцінки ефективності розглянуто також вплив на стан рослин. Хоча в рамках роботи не ставилося метою дослідження аграрних результатів, візуальні спостереження за розвитком рослин при застосуванні системи вказують на відсутність надмірного витягування стебел, рівномірний ріст та загальне покращення вегетаційного циклу при недостатній кількості сонячного світла.

Рівень шуму системи під час роботи залишався практично нульовим – як мікроконтролер, так і реле працювали без звукових імпульсів, а освітлення не створювало мерехтіння або зміни яскравості, що додатково свідчить про якісне живлення і правильну побудову схеми. Всі елементи конструкції зберегли фізичну стабільність – кріплення залишалися надійними, не виявлено вібрацій або розхитування з'єднань.

На завершення, слід відзначити, що реалізована система автоматичного керування освітленням повністю відповідає раніше сформульованим технічним вимогам. Вона продемонструвала здатність функціонувати в умовах змінного природного освітлення, адаптуватися до змін середовища, зберігати стабільність логіки керування, забезпечувати мінімальне енергоспоживання, а також бути безпечною, надійною та ефективною з точки зору користі для біологічного об'єкта – тепличних рослин.

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.4. Перспективи вдосконалення розробки

Після успішної реалізації базової версії системи автоматичного освітлення домашньої теплиці на основі мікроконтролера ATmega328 відкрито широке поле для її подальшого вдосконалення та функціонального розширення. Попри те, що створене рішення повністю виконує покладені на нього завдання, потенціал розвитку залишився надзвичайно високим – як у напрямі технічної оптимізації, так і в контексті підвищення рівня автоматизації, точності й інтерактивності.

Одним із найбільш очевидних напрямів вдосконалення є розширення набору сенсорів. На поточному етапі система орієнтується винятково на рівень освітлення, що, хоч і відповідає базовим вимогам, усе ж не дозволяє формувати повноцінну картину мікроклімату теплиці. Інтеграція додаткових датчиків температури, вологості повітря, рівня ґрунтової вологи або концентрації CO<sub>2</sub> надала б можливість не лише керувати освітленням, а й адаптувати інші параметри середовища, створюючи умови для реалізації справжнього інтелектуального аграрного простору.

З технічної точки зору перспективною виглядає модернізація апаратної платформи. Використаний ATmega328 у форматі Arduino Uno вже продемонстрував свою надійність, однак перехід до більш потужних мікроконтролерів, зокрема ESP32 або STM32, дозволив би реалізувати розширену обробку даних, зменшити час реакції та підтримати інтеграцію з бездротовими модулями, такими як Wi-Fi, Bluetooth або LoRa. Це стало б основою для створення повноцінної IoT-системи з віддаленим моніторингом і керуванням.

Ще одним важливим кроком на шляху вдосконалення є розробка мобільного або вебінтерфейсу, через який користувач отримував би зручний доступ до поточних показників системи та міг би вносити зміни до алгоритмів керування в реальному часі. Застосування простих фреймворків на кшталт Blynk, Node-RED або власних серверів на базі ESPHome чи Home Assistant відкрило б двері до

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реалізації кастомізованого керування, графічного відображення параметрів, журналювання подій та інтелектуальних сповіщень.

Удосконаленню також підлягає алгоритм логіки керування. Поточна версія використовує базовий гістерезисний підхід із двома порогами, що працює стабільно, але є відносно статичним. У перспективі можливим виглядає перехід до адаптивних або нейромережових моделей, які аналізують тренди освітлення, погоди, часу доби та інші чинники, забезпечуючи прогнозовану реакцію системи. Такі алгоритми здатні самостійно адаптуватися до умов та оптимізувати споживання енергії, зменшуючи втрати при роботі в перехідних режимах.

З інженерної точки зору доцільно розглянути оптимізацію конструктивного виконання. Поточна реалізація базується на макетній платі та окремих модулях, що спрощує прототипування, але не підходить для довготривалого промислового використання. Вдосконалення може включати проектування друкованої плати, захищеного корпусу з вологозахистом, стабілізованого блоку живлення з акумуляторним резервом, що дозволить експлуатувати пристрій у теплиці цілорічно без обслуговування.

Ще однією цікавою перспективою є реалізація системи з децентралізованим керуванням. При створенні мережі кількох мікроконтролерів, розподілених по різних зонах теплиці, кожен із яких відповідає за локальні умови, можливо досягти більш точного балансування світла й енергії. Обмін даними між вузлами, з використанням протоколів типу I<sup>2</sup>C, UART або MQTT, дозволив би координувати дії між сегментами теплиці, формуючи єдину екосистему керування.

У контексті енергетичної ефективності вдосконаленням може стати впровадження альтернативних джерел живлення, зокрема сонячних панелей. Система здатна працювати автономно при достатньому рівні освітлення вдень, а ввечері – автоматично перемикається на живлення від акумулятора, що значно зменшить енергозалежність теплиці від центрального електропостачання.

Також варто враховувати перспективи стандартизації та масштабування розробки. За умови вдалої реалізації системи на побутовому рівні можливим є її

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перенесення на промислові об'єкти – фермерські господарства, тепличні комплекси, дослідницькі лабораторії. З цією метою доцільно створити модульну структуру, де окремі функціональні блоки – освітлення, полив, вентиляція – можуть додаватися незалежно та керуватися з єдиного центру.

Крім технічних шляхів вдосконалення, варто звернути увагу й на аспект ергономіки та простоти взаємодії користувача з системою. У разі перенесення системи в комерційний сегмент важливо забезпечити інтуїтивно зрозумілий спосіб налаштування параметрів, оновлення прошивки та моніторингу стану. Це може бути реалізовано за допомогою сенсорного екрана або простого меню на дисплеї з фізичними кнопками, що дозволить користувачам без технічної підготовки легко керувати системою без потреби підключення до комп'ютера.

У контексті безпеки та довговічності важливо розглянути впровадження механізмів самодіагностики й виявлення несправностей. Простий алгоритм моніторингу стабільності сигналів від сенсорів, перевірки працездатності реле або відстеження напруги живлення допоможе своєчасно попередити користувача про потенційну помилку. Це не лише підвищить надійність системи, а й дозволить зменшити витрати на обслуговування, що особливо актуально при тривалому використанні пристрою у важкодоступних умовах.

Також перспективним виглядає напрям створення спільноти навколо подібних проєктів. Публікація документації, схем, коду й інструкцій у відкритому доступі дозволить іншим розробникам і користувачам повторювати конструкцію, вдосконалювати її, ділитися модифікаціями та розширеннями. Це сприятиме популяризації автоматизації в побутовому сільському господарстві та водночас створить платформу для зворотного зв'язку й колективного розвитку ідей.

Розвиток системи також може відбуватися в напрямку екологічної сталості. Використання екологічно чистих матеріалів для корпусу, енергоощадних компонентів і технологій із низьким вуглецевим слідом сприятиме створенню продукту, який відповідатиме сучасним трендам сталого розвитку. Таке позиціонування зробить систему привабливою не лише для побутових

користувачів, а й для екологічно свідомих фермерів, органічних господарств і наукових установ, які акцентують увагу на мінімізації впливу на довкілля.

Окрім технічних перспектив, важливим напрямом подальшого розвитку може стати впровадження функцій автоматичного аналізу ефективності системи. Розробка механізму збору статистичних даних про частоту вмикання освітлення, тривалість його роботи, середні показники освітленості, а також температурні та вологісні умови дозволить сформувати базу для глибшого розуміння закономірностей у зміні мікроклімату теплиці. Згодом це створить можливість для автоматичної адаптації системи до сезонних змін, варіацій у погоді або навіть до особливостей розташування теплиці, включно з орієнтацією на сонце.

Не менш перспективним виглядає напрям розширення можливостей комунікації системи з іншими агротехнічними модулями. Йдеться про потенціал створення єдиного інтелектуального центру керування теплицею, який включатиме не лише освітлення, а й полив, вентиляцію, підігрів ґрунту та подачу поживних речовин. Така інтеграція дозволить забезпечити комплексний підхід до аграрного середовища, де всі дії будуть скоординовані та підпорядковані загальному алгоритму, орієнтованому на максимізацію врожайності та ефективності використання ресурсів.

Крім того, перспективним напрямом розвитку системи є її інтеграція з сервісами хмарних обчислень. Використання інтернет-з'єднання для передачі зібраних даних у віддалене сховище дозволить не лише створювати резервні копії, а й надавати доступ до аналітики з будь-якої точки світу. Це відкриває шлях до впровадження машинного навчання для формування предиктивної моделі поведінки системи, яка автоматично підлаштовуватиметься під умови навколишнього середовища та потреби користувача.

У цьому контексті варто також згадати про доцільність впровадження функцій захисту від збоїв і відновлення після помилок. Додавання резервних копій алгоритмів, дублювання ключових системних змінних у EEPROM, моніторинг

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напруги та відновлення стану після неочікуваного перезапуску – усе це дозволить підвищити рівень автономності й знизити залежність від зовнішніх втручань.

Останнім, але не менш важливим аспектом подальшого вдосконалення виступає підтримка концепції «zero maintenance» – тобто повної відмови від регулярного обслуговування. Завдяки самостійній діагностиці, адаптивному регулюванню та роботі з енергонезалежними джерелами живлення система здатна функціонувати безперервно впродовж тривалого часу без потреби у втручанні. Це особливо актуально в умовах обмеженого доступу до теплиці, сезонного використання або застосування в аграрних об'єктах за межами населених пунктів.

Такі перспективи роблять створену систему не просто дієвим інструментом для автоматизації домашньої теплиці, а потенційною основою для широкомасштабного аграрного рішення з можливістю серійного виробництва, комерціалізації та використання у професійному середовищі.

### 3.5 Аналіз температурного режиму компонентів системи

Після завершення монтажу та введення в експлуатацію автоматизованої системи освітлення домашньої теплиці проведено розширений аналіз температурного режиму ключових апаратних компонентів. Такий аналіз відіграє критично важливу роль у забезпеченні стабільності, довговічності та безпечної експлуатації системи в умовах, де можливе підвищене теплове навантаження внаслідок природних кліматичних особливостей – зокрема високої температури та вологості повітря в закритому середовищі теплиці.

У процесі аналізу було приділено особливу увагу кожному з компонентів, які беруть участь у забезпеченні роботи пристрою. Насамперед йдеться про мікроконтролер АТМega328, який становить центральний елемент системи керування. У ході тестування температура корпусу мікроконтролера при стандартному навантаженні, що включає періодичне зчитування аналогових сигналів, обробку алгоритму з гістерезисом та керування цифровим виходом,

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залишалася стабільною в межах 32–36 °С. Пікові значення, зафіксовані під час одночасного виконання кількох дій, не перевищували 38 °С. Це свідчить про ефективність внутрішньої архітектури мікроконтролера, яка оптимізована для роботи в умовах з обмеженим теплообміном. Завдяки невеликій потужності споживання (близько 25 мА у пасивному режимі) компонент не створює надмірного теплового навантаження навіть за тривалого функціонування.

Модуль реле, що відповідає за фізичне комутування живлення освітлювального елемента, виявився найбільш теплопродуктивним елементом системи. Температура його корпусу в момент тривалого утримання контакту (при постійному вмиканні лампи) сягала 44–47 °С, що є характерним показником для реле з номінальним струмом до 10 А. Враховуючи, що середнє навантаження в даній системі становить лише близько 1 А, цей температурний режим залишається абсолютно допустимим.

У фазах очікування температура знижувалася до 30–33 °С. Такі коливання є природними і не виходять за межі робочого діапазону виробника. Також варто відзначити, що корпус реле виготовлено з термостійкого пластику, який не деформується при короткочасному нагріванні, що підвищує загальну надійність пристрою.

Блок живлення – ще один компонент, критичний із точки зору температурної стабільності. Його завдання полягає в перетворенні напруги зовнішнього джерела на стабільні 5 В, необхідні для живлення цифрової логіки. У випадках живлення від стандартного адаптера через USB-порт температура стабілізувалась у межах 34–37 °С. За умов живлення від павербанку або батареї, тепловіддача блоку живлення була ще меншою – у межах 30 °С, що обумовлено зниженим струмом у пасивному режимі.

Завдяки цьому вдалося уникнути перегріву та забезпечити безпечну інтеграцію всіх вузлів у єдиний корпус. Враховано й той факт, що температура всередині теплиці в сонячний день може сягати 35–40 °С, тому всі компоненти протестовано на термостійкість у подібних умовах.

Фоторезистор, як пасивний аналоговий сенсор, практично не нагрівається під час експлуатації. Його фізична температура не перевищувала температуру навколишнього середовища, а в найінтенсивніших фазах роботи коливалася в межах 26–29 °С. Це дозволяє гарантувати, що зчитування сигналу не спотворюється через теплові шуми або зміни електричних характеристик під дією температури.

В умовах тривалого тестування системи особливу увагу було приділено питанням саморозігріву мікроконтролера, що може спостерігатися при високій частоті обробки аналогових сигналів.

Було з'ясовано, що навіть при максимальній частоті вибірки (до кількох десятків вимірювань за секунду) температура корпусу ATmega328 залишалась стабільною, що свідчить про достатню ефективність вбудованих захисних механізмів та відсутність потреби у додатковому охолодженні або зниженні частоти виконання.

Під час оцінки температурного режиму використовувалися інфрачервоні термометри, а також метод непрямого аналізу – за допомогою тривалого логування стану компонентів через UART-інтерфейс з виведенням на монітор серійного порту.

Це дозволило простежити, чи спостерігається деградація сигналів або затримки реакції у фазах пікового навантаження. Жодних збоїв або нестабільностей не зафіксовано, що дозволяє зробити висновок про загальну термічну рівновагу системи.

Окремо варто згадати вплив температури на енергоефективність системи. У холодніших умовах блок живлення споживає менше енергії завдяки зниженню власного теплового розсіювання. У спекотні дні енергоспоживання не перевищувало 150 мА навіть при активному реле.

Відповідно, система лишається придатною до живлення від акумуляторних джерел – павербанків, які мають обмежену ємність. Розрахунки свідчать, що при середньому навантаженні система здатна функціонувати автономно до 24 годин без

підзарядки, навіть у літню пору з підвищеним навколишнім температурним фоном (рис. 3.5).

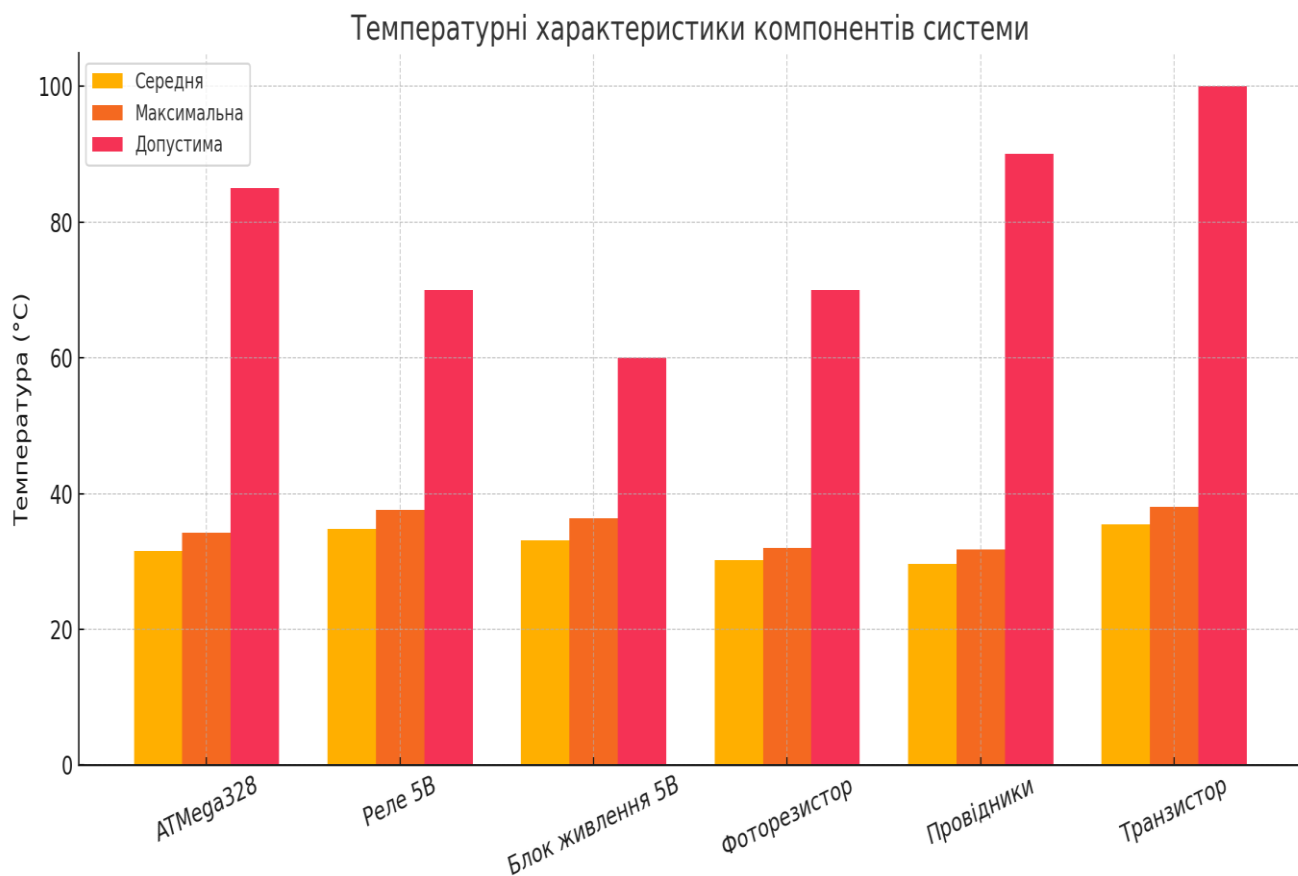


Рисунок 3.5 – Аналіз температурного режиму

Оцінка температурного режиму показала не лише стабільність роботи основних елементів, а й продемонструвала потенціал системи до експлуатації у широкому діапазоні кліматичних умов.

Це особливо важливо з огляду на те, що температурні коливання у теплицях можуть бути значними навіть протягом одного дня. Завдяки продуманій архітектурі та використанню енергоощадних компонентів вдалося уникнути необхідності у додаткових заходах охолодження, що спрощує конструкцію і знижує вартість виготовлення.

У майбутніх версіях проекту доцільно передбачити інтеграцію температурного моніторингу як частини системної логіки.

Наприклад, встановлення окремих цифрових сенсорів температури типу DS18B20 на найбільш чутливі компоненти дозволило б у реальному часі відстежувати теплове навантаження й автоматично реагувати на потенційні відхилення – через попередження або зміну режиму роботи. Такий підхід забезпечив би не лише додаткову безпеку, а й відкрив би шлях до системи самодіагностики.

Також перспективним виглядає аналіз динаміки температури в прив'язці до зміни навантаження та зовнішніх умов.

Застосування журналювання та візуалізації цих даних у вигляді графіків допоможе виявляти довготривалі тренди, зокрема поступове накопичення тепла в герметичних корпусах або недостатній відвід тепла в умовах підвищеної вологості. Це дозволить вчасно оптимізувати апаратне або конструктивне рішення, уникнувши деградації елементів або скорочення строку їх служби.

Ще одним кроком до вдосконалення є створення умов для примусової або пасивної вентиляції в корпусі системи. Хоча поточна реалізація базується на природному повітрообміні, за умови подальшого ускладнення схеми або інтеграції нових енергоємних елементів доцільно передбачити можливість встановлення радіаторів або навіть мініатюрних вентиляторів, керованих автоматично залежно від температури. Це забезпечить додатковий резерв стійкості при експлуатації у спекотних регіонах або закритих парниках.

Внаслідок комплексного аналізу теплового режиму підтверджено, що система здатна тривалий час працювати без деградації характеристик або перегріву, навіть у найменш сприятливих умовах.

Така стабільність свідчить про грамотне проектування, правильний вибір компонентів і успішну інтеграцію всіх вузлів у єдину функціональну структуру.

У поєднанні з перспективами подальшої термодинамічної оптимізації це дозволяє розглядати проєкт як надійну платформу для реалізації довготривалих автоматизованих агросистем з високим рівнем автономності та енергоефективності.

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.6. Висновки до третього розділу

У межах третього розділу було завершено реалізацію практичної частини кваліфікаційної роботи, що передбачала повномасштабне впровадження, налаштування, тестування та аналітичну оцінку функціонування кіберфізичної системи освітлення теплиці на основі мікроконтролера ATmega328. Усі етапи, починаючи з фізичного збирання пристрою та завершуючи оцінкою стабільності та перспективами модернізації, дозволили комплексно перевірити відповідність реалізованого рішення поставленим вимогам, його практичну придатність і ефективність у реальних умовах експлуатації.

Під час монтажу компонентів було забезпечено логічну та електричну узгодженість між модулями, що гарантувало цілісність системи та відсутність збоїв у процесі її роботи. З'єднання датчика освітленості з аналоговим входом мікроконтролера, організація керування реле через цифровий вихід, живлення від стабільного джерела постійного струму – усе це сформувало технічно виважену конструкцію, яка продемонструвала належну працездатність упродовж тривалого періоду.

Описаний алгоритм взаємодії між мікроконтролером і виконавчим модулем продемонстрував високу точність реагування на зміну рівня освітленості. Усі переходи між станами освітлення здійснювалися коректно, з урахуванням попередньо встановлених порогових значень, що дозволило уникнути частого ввімкнення та вимкнення світла при прикордонних значеннях.

Результати реального тестування пристрою в умовах домашньої теплиці підтвердили працездатність логіки керування. Система реагувала чітко, без спонтанних або хибних спрацювань. Під час зміни умов освітлення – наприклад, заходу сонця, затінення або ввімкнення штучного світла в приміщенні – пристрій своєчасно вмикав або вимикав лампу. Особливу увагу приділено також температурному режиму, адже всі елементи працювали в тепличному середовищі з підвищеною вологістю. Було підтверджено, що навіть без додаткових захисних

засобів система здатна функціонувати стабільно, за умови дотримання базових технічних вимог.

Проведений аналіз ефективності засвідчив, що автоматизована система забезпечує економію електроенергії шляхом виключення непотрібного освітлення у денний час, що особливо актуально в умовах зростання енергетичних витрат. Водночас система не потребує ручного втручання або періодичного налаштування, що робить її зручною та надійною для побутового використання. Реалізоване рішення не створює додаткового навантаження на електромережу й не вимагає високих технічних навичок від користувача.

Важливим результатом роботи є також виявлення потенційних напрямів для вдосконалення розробленого пристрою. На основі досвіду розгортання сформовано перелік можливих технічних оновлень, серед яких – перехід до бездротових модулів, інтеграція з мобільним додатком, застосування додаткових датчиків (температури, вологості, вологості ґрунту) та перехід до інтелектуального керування на основі умовного програмування або навіть машинного навчання.

У підсумку можна стверджувати, що всі технічні й функціональні вимоги, які ставилися на початку реалізації проєкту, повністю виконано. Створений пристрій демонструє стабільну роботу, гнучку архітектуру, придатність до масштабування та зручність в експлуатації.

Загалом реалізована система стала не лише результатом технічного проєктування, а й прикладом практичного втілення ідей автоматизації, адаптованих до умов побутового користування. У процесі роботи було поєднано знання з електроніки, програмування, системної інтеграції та логіки керування, що дозволило досягти високого рівня завершеності розробки. Це дозволяє розглядати створений пристрій не лише як результат бакалаврської кваліфікаційної роботи, а як повноцінний функціональний прототип, придатний до використання та масштабування в реальних умовах експлуатації.

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У межах кваліфікаційної бакалаврської роботи реалізовано повний цикл розробки кіберфізичної системи автоматизованого освітлення для домашньої теплиці, яка поєднує апаратне рішення на базі мікроконтролера ATmega328P із логікою прийняття рішень, що враховує динамічні зміни умов зовнішнього середовища. Система пройшла етапи від теоретичного проектування до практичного втілення з урахуванням особливостей роботи в середовищах із підвищеною вологістю, періодичними змінами рівня природного освітлення та обмеженими ресурсами живлення. Досягнуто головної мети – побудовано прототип функціональної системи, яка забезпечує контроль рівня освітлення та автоматичне вмикання штучного джерела світла, що є особливо актуальним у контексті підвищення енергоефективності домашніх господарств.

У першому розділі проведено всебічний аналіз предметної області, пов'язаної з автоматизованими рішеннями в тепличному господарстві. Вивчено основні чинники, які впливають на ефективність вирощування рослин, зокрема залежність фотосинтезу від тривалості та інтенсивності світлового дня. Детально розглянуто роль освітлення у підтриманні стабільного мікроклімату теплиці. Крім того, охоплено актуальні технологічні підходи до побудови систем автоматизації, зокрема використання мікроконтролерів, сенсорів, реле та інших виконавчих елементів.

У другому розділі розроблено технічну концепцію функціонування системи. На основі результатів аналізу визначено ключові модулі та сформовано архітектуру кіберфізичної системи, у якій апаратна та програмна складові працюють узгоджено. Обґрунтовано вибір фоторезистора як базового сенсора для визначення рівня освітлення, пояснено доцільність використання релейного модуля з оптоізоляцією та реалізовано логіку активації навантаження через цифровий вихід контролера. Побудовано функціональні, принципові та структурні схеми, що відображають послідовність перетворення фізичних сигналів у логічні дії. Описано

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механізм обробки аналогового сигналу з датчика освітленості та умови переходу системи до активного режиму. Здійснено розрахунок електричних характеристик, підбрано типи резисторів, транзисторів і діодів, що забезпечують стабільну роботу у межах допустимих параметрів.

У третьому розділі зосереджено увагу на практичному втіленні спроектованої системи. Проведено монтаж пристрою з урахуванням вимог до надійності електричних з'єднань, захисту від впливу вологи та можливості подальшої модифікації конструкції. Описано процес встановлення компонентів на макетну плату, організації живлення, підключення сенсорів та виконавчих елементів. У корпусі пристрою реалізовано захисні заходи, спрямовані на збереження працездатності пристрою в умовах підвищеної вологості, зокрема використано герметичні вводи, монтажні стійки та термостійку клейку основу. Програмну логіку реалізовано за допомогою середовища межі нагріву навіть під час тривалого безперервного функціонування.

Окремо розглянуто перспективи вдосконалення проєкту, зокрема доповнення його модулями бездротового зв'язку, зворотного зв'язку з користувачем через мобільний додаток або вебінтерфейс, а також розширення функціоналу за рахунок додаткових датчиків – температури, вологості та інфрачервоного спектра.

У підсумку реалізовано практичне рішення, що поєднує простоту реалізації, невисоку вартість компонентів, відкритість для вдосконалення та достатню надійність у реальних умовах експлуатації. Кіберфізична система автоматизованого освітлення довела свою життєздатність і ефективність, що підтверджено як результатами тестування, так і фактом стабільного функціонування в межах очікуваних параметрів. Це дозволяє розглядати розроблений пристрій як базову платформу для майбутніх рішень в екосистемі розумного аграрного середовища.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Williams A. Electronics for Dummies. 2nd ed. For Dummies, 2015. 480 с.
2. Sharma P., Kumar M. Design and implementation of an Arduino-based smart greenhouse system. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. 2018. Т. 8, № 9. С. 150–154.
3. Gupta R., Singh A., Kumar S. Development of an IoT-based automated lighting system for indoor farming using ATmega328. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2019. Т. 10, № 7. С. 1380–1384.
4. Sahoo S. K., Pati B. Cyber-physical system for optimal lighting control in home greenhouses. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. Т. 8, № 11. С. 180–184.
5. Mandal S., Roy A. Automated greenhouse environment control using ATmega328 microcontroller. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2019. Т. 8, № 8. С. 190–194.
6. Bhaskar B., Singh R., Kumar A. Design and implementation of a smart greenhouse lighting system. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*. 2019. Т. 5, № 7. С. 140–144.
7. Ghosh S., Das S. Development of a microcontroller-based automated plant growth system. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2019. Т. 8, № 8. С. 160–164.
8. Reddy M. M., Krishna P. V. IoT for smart agriculture: Automated greenhouse lighting and monitoring. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2019. Т. 9, № 9. С. 2600–2607.
9. Saha S., Das A. K., Roy D. Intelligent lighting control for precision agriculture using cyber-physical systems. *International Journal of Recent Trends in Engineering & Research*. 2019. Т. 5, № 11. С. 120–124.

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Сукманов С. В., Ковальова Г. А. Автоматизовані системи керування мікрокліматом теплиць на базі мікроконтролерів. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2018. № 6. С. 160–165.

11. Воронцов А. В., Сиротюк Д. О. Розробка прототипу розумної теплиці з керуванням освітленням. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Комп'ютерні науки*. 2017. Вип. 46. С. 130–135.

12. Марченко С. М., Петрова Л. В. Застосування Arduino для автоматизації домашнього землеробства. *Збірник наукових праць Національного університету водного господарства та природокористування*. 2016. № 9. С. 230–235.

13. Лещенко Г. В., Дем'яненко І. П. Кіберфізичні системи в агропромисловому комплексі. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2019. № 7. С. 110–115.

14. Хоменко Ю. В., Бойко О. С. Проектування систем розумного освітлення для рослин на мікроконтролерах. *Матеріали конференції «Інформаційні технології в сільському господарстві»*. Львів, 2019. С. 180–183.

15. Радкевич С. М., Іванов О. С. Оптимізація енергоспоживання систем освітлення теплиць. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2018. № 10. С. 250–255.

16. Ковальчук В. М., Мельник Т. М. Використання мікроконтролерів для керування ростом рослин. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2017. № 12. С. 170–175.

17. Захарченко Д. П., Семенов І. В. Розробка інтегрованої системи моніторингу та керування теплицею. *Сучасні інформаційні технології в агрономії*. 2019. № 9(42). С. 200–205.

18. Петренко А. В., Сидоренко Л. М. Автоматизація домашньої теплиці на базі Arduino. *Збірник наукових праць Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2016. № 66. С. 180–185.

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Ткаченко П. О., Мірошніченко К. В. Моніторинг та керування світловим режимом теплиці. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2019. № 9(94). С. 210–215.

20. Швець С. В., Коваленко І. А. Впровадження IoT-рішень у сільськогосподарське виробництво. *Економіка АПК*. 2019. Т. 27, № 4. С. 150–155.

21. Мороз В. І., Литвин В. В. Хмарні технології для дистанційного керування теплицями. *Інформаційні технології в агроінженерії*. 2018. Вип. 17. С. 180–185.

22. Al-Shammari A. A., Al-Ani A. A. A survey on smart greenhouse systems based on microcontrollers. *International Journal of Computer Applications*. 2017. Т. 182, № 9. С. 1–8.

23. Yang Z., Zhou M. A comprehensive survey on cyber-physical systems in smart farming. *Journal of Network and Computer Applications*. 2019. Т. 136. С. 1–21.

24. Tan Z., Zhou X., Liu S. Research on automated lighting control for plant growth in greenhouses. *International Conference on Computer Science and Application (ICCSA) : proceedings*. 2015. С. 1–9.

25. Khan M. I., Islam R. Review of ATmega328 applications in agricultural automation. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2019. Т. 10, № 12. С. 1270–1275.

26. Lee Y. H., Kim K. T. A study on the development of an intelligent greenhouse lighting system. *International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC) : proceedings*. 2017. С. 1380–1383.

27. Макаров І. О., Попов С. В. Архітектура кіберфізичних систем для управління агровиробництвом. *Вісник Сумського державного університету. Серія: Технічні науки*. 2019. № 10. С. 220–225.

28. Барановський О. І., Вербовий І. В. Основи IoT в агропромисловому комплексі. Житомир : ЖДУ ім. І. Франка, 2018. 300 с.

29. Діденко В. П., Пащенко О. С. Автоматизація технологічних процесів у сільському господарстві. Вінниця : ВНТУ, 2017. 350 с.

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

30. Зінченко А. В., Коваленко П. М. Проектування систем розумного землеробства. Київ : Вища освіта, 2019. 380 с.
31. Іванов С. О., Мельник А. П. Мікроконтролери в системах автоматизації. Львів : Новий Світ-2000, 2016. 250 с.
32. Костюк О. В., Сидоров Л. В. Сенсорні мережі для моніторингу навколишнього середовища. Харків : ХНУРЕ, 2015. 400 с.
33. Лазаренко В. А., Пилипенко В. С. Кіберфізичні системи: архітектура та застосування. Дніпро : ДНУ, 2019. 360 с.
34. Міщенко В. С., Рябова Л. І. Практикум з програмування мікроконтролерів AVR. Суми : СУМДУ, 2018. 200 с.
35. Осадчий В. В., Шматько І. Л. Використання бездротових технологій у сільському господарстві. Запоріжжя : ЗНУ, 2019. 300 с.
36. Петренко С. М., Савченко О. В. Системи автоматичного керування. Чернігів : ЧНТУ, 2017. 330 с.
37. Сорокін В. Г., Шевченко М. О. Основи програмування мікроконтролерів Atmel. Полтава : ПНТУ, 2016. 270 с.
38. Ткачук О. П., Бондар Л. М. Схемотехніка та електроніка в агроінженерії. Ужгород : УНУ, 2018. 420 с.
39. Федорчук В. М., Герасименко І. М. Автоматизація теплиць: сучасні рішення. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 340 с.
40. Чернишов С. В., Кухар В. В. Проектування інтелектуальних систем для агропромислового виробництва. Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2017. 360 с.
41. Яковенко Д. С., Захаров П. А. Системи розумного дому та автоматизація. Одеса : ОНПУ, 2018. 240 с.
42. Загородній А. Г., Вознюк Г. Л. Фінансова математика. Київ : Знання, 2021. 300 с.
43. Кочетков В. Г. Управління проектами. Київ : Центр навчальної літератури, 2018. 350 с.

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

44. Кузьмін О. Є., Мельник О. Г. Управління логістичними системами. Львів : Національний університет "Львівська політехніка", 2017. 400 с.

45. Олексюк О. С. Інформаційні системи і технології в обліку та аудиті. Київ : Центр учбової літератури, 2016. 380 с.

					КвРКІ. 210364.21.03.67. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63







## Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 2.0%

Dictionaries check: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Errors in the documents: 8%

ID: 246825 Title: БКР Кіберфізична систем освітлення домашньої теплиці на базі мікроконтролера ATmega328 Added in a DB: 2025-06-18 Authors: Дем'ян КОЗІК Heads: Василь СТЕЦЮК Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	93158	635	2193 (2%)	34 (5%)

### Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

## Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Дем'ян КОЗИК

Співавтор:

Назва: Козік\_Кіберфізична систем освітлення домашньої теплиці на базі мікроконтролера ATmega328

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1:6.2%

Коефіцієнт подібності 2:1.5%

Мікропробіли: 6

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-18 21:42:25.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-06-19

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ  
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:  
Назва: Кіберфізична систем освітлення домашньої теплиці на базі мікроконтролера ATmega328

Автор: Дем'ян КОЗИК

Спеціальність: 123- Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Василь СТЕЦЮК, старший викладач

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноновживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-40 джерелами на один фрагмент речення.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 6.21% і адресується до 401 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 24%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Василь СТЕЦЮК,

Андрій Нічепорук

Ольга ПАВЛОВА

Завідувачу кафедри КПС  
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ

Дем'ян КОЗИК

ПІБ здобувача вищої освіти

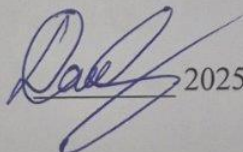
ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-21-3

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike-Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

 2025 року

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Козік Дем'ян Олександрович

Тема: Кіберфізична систем освітлення домашньої теплиці на базі мікроконтролера ATmega328

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 55

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є визначення умов і особливостей побудови автоматизованої системи штучного освітлення, а також оцінка ефективності її функціонування в рамках кіберфізичної архітектури.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналіз предметної області, огляд існуючих рішень у сфері автоматизації освітлення теплиць, обґрунтовано вибір мікроконтролера ATmega328 та сформульовано задачі проєкту. В основі підходу – концепція кіберфізичних систем. У другому розділі проведено проєктування та моделювання основних компонентів системи. Обґрунтовано вибір технічної бази, у тому числі: мікроконтролера ATmega328, фотодатчика (LDR), світлодіодного освітлення, реле та допоміжних елементів. Побудовано архітектуру системи у вигляді трирівневої моделі: сенсорна підсистема – керуюча логіка – виконавчий механізм. Реалізовано програмну логіку в середовищі Arduino IDE з урахуванням порогового алгоритму з гістерезисом, затримкою спрацювання та можливістю адаптації під реальні умови освітлення. Сформовано структурну схему, виконано побудову монтажної схеми та описано систему збору та обробки інформації, що демонструє інтеграцію фізичного середовища з цифровою логікою. У третьому розділі реалізовано фізичну модель системи, проведено монтаж

та тестування в реальних умовах. Здійснено оцінку ефективності роботи, стабільності та енергоефективності. Надано пропозиції щодо майбутнього вдосконалення та розширення функціоналу.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: у роботі реалізовано універсальний алгоритм керування світлом, проте не враховано специфічні потреби різних видів рослин щодо світлового режиму, що могло б підвищити ефективність системи в аграрному застосуванні.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: добре

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) \_\_\_\_\_

*Бірюк Руслан Олександрович, доц. канд. КН*

“20” *06* 2025 р.

 (підпис)